

**ПОДБОРКА
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ СТАТЕЙ
В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

Там, внизу, еще очень много нанобума...

Е.А.Гудилин, Ю.Д.Третьяков

Е.А.Гудилин – чл.-корр. РАН, д.х.н., проф., зам.декана ФНМ МГУ, Ю.Д.Третьяков – акад. РАН, д.х.н., проф., декан ФНМ МГУ

К представителям наномира также можно отнести кластеры, способные содержать до нескольких сотен атомов, и различного рода "наноструктуры", размер которых хотя бы в одном из измерений не превышает нескольких десятков нанометров. Человечество с самого своего возникновения живет среди нанообъектов. Внутри наших клеток находятся миллиарды молекулярных машин - клеточных органелл. Наш скелет представляет собой по сути композитный материал, который содержит строительные элементы в виде "наночешуек" гидроксилалюмината размером 30-50 нм и толщиной всего несколько нанометров. Неудивительно, что приставка "нано" по-прежнему удивляет, восхищает и: пугает. Как нам использовать опыт тех, кто уже почувствовал вкус к нанотехнологиям, все их плюсы и минусы?

Все-таки "нано" - это много или мало? Когда-то, говорят, Чингисхан приказал каждому из своих воинов принести по камню к его шатру. Выросла большая гора. А что если каждый человек на земном шаре (а их явно гораздо больше, чем воинов Чингисхана) принесет по одной-единственной квантовой точке (диаметр 10 нм, плотность материала 7 г/куб. см) и положит ее около штаб-квартиры Государственной корпорации "Роснано" в кучу, то какую массу будет иметь эта куча? Этот вопрос был задан школьникам на второй Всероссийской олимпиаде по нанотехнологиям, организованной МГУ в 2008 г., и многие из них с полным изумлением получили правильный ответ - "кучка" из наноточек будет иметь массу всего 22 нанограмма, это мельче любой самой маленькой пылинки!

Нанотехнологии - детище современной фундаментальной науки, междисциплинарная область деятельности, основанная на достижениях химии, физики, биологии, механики и других классических наук, а также на связанном с закономерной эволюцией этих и других областей исследований прорыве в разработке методов синтеза и анализа веществ и материалов. В этом плане нанотехнологии - зачастую существенное улучшение свойств многих практически важных устройств, но не всеобъемлющий переворот наших знаний, как иногда полагают. По определению нанотехнологии - это только способ что-то сделать, их наиболее важным, осязаемым, продуктом выступают наноматериалы (НМ), практически важные (функциональные) свойства которых определяются химическим составом, структурой, размерностью и упорядочением составляющих их фрагментов, размер которых принадлежит нанодиапазону, то есть интервалу от 1 до 100 нм. Принципиальная важность нанодиапазона "пространственной шкалы" заключается в том, что в нем реализуются специфические химические и физические взаимодействия. В действительности любые объекты и материалы можно и нужно изучать на разных пространственных масштабах, особенности структуры и свойств материалов на которых (структурная иерархия) лишь в неразрывной совокупности определяют их конечные свойства, важные для фундаментальных исследований и, безусловно, практики. В итоге, для создания наноматериалов оказываются важными не только их состав (определяющий основные свойства) и размер (изменяющий многие свойства), но и размерность (делающая частицы неоднородными), а также упорядочение в системе (усиление, интеграция свойств в ансамбле нанообъектов). Это характерно для нанотехнологий - новое качество, как правило, получается только при правильно организованной структуре на более крупных масштабах, чем нано. Напротив, наноуровень присутствует практически в любых макрообъектах, но не всегда он важен, в этом случае нет оснований говорить о "нанотехнологиях".

Через десятилетие после пика нанотехнологического бума на Западе он докатился и до России. Появление "нано" в нашем обиходе закономерно, ведь еще пять лет назад (22 мая 2003 г.) Президент РФ поручил правительству дать предложения по повышению результативности исследований и разработок в области наноматериалов и нанотехнологий. Потребовалось почти четыре года, чтобы появилась "Стратегия развития nanoиндустрии", утвержденная Президентом

РФ 24 апреля 2007 г. Спустя несколько месяцев были созданы ГК "Роснано" с колоссальным по отечественным меркам начальным уставным капиталом в 130 млрд руб., выделенных из бюджета, и правительственный Совет по нанотехнологиям во главе с заместителем председателя правительства С. Б. Ивановым. Именно он оперативно отреагировал на шумиху вокруг нанотехнологий, заявив, что "рекламировать продукцию со словом "нанотехнология" - это, по существу, трюк. Я сильно сомневаюсь, что там вообще есть какие-нибудь нанотехнологии. Вот хочу простых граждан об этом предупредить. Их уже пытаются дурить". Это скоротечное развитие ситуации от полной эйфории до сдержанного пессимизма весьма характерно.

Действительно, парадигма развития любой новой технологии и реакция на это развитие общества совершенно не линейны. Все начинается с ажиотажного интереса, который возбуждается в обществе (в развитии нанотехнологий в США этому этапу соответствует появление Национальной нанотехнологической инициативы, у нас, пожалуй, 2005-2006 гг.). Общественная реакция проходит через пик необоснованных ожиданий, на этом этапе большие деньги в основном получают организаторы различных рекламных компаний, конференций и издатели научно-популярной рекламной литературы. Однако затем происходит разочарование и резкое падение популярности. На следующем этапе более или менее положительное отношение общества или хотя бы его части восстанавливается, и технология выходит на "плато продуктивности". На этом этапе большая часть спекуляций заканчивается, начинается упорная и успешная работа профессионалов, которая действительно приводит к впечатляющим результатам. В настоящий момент общественная реакция уже близка к пику. Если общественные ожидания будут расти так же быстро, то неизбежное разочарование в радужных иллюзиях, ореолом которых окружены нанотехнологии, приведет к тому, что они надолго потеряют доверие людей. К сожалению, необходимо констатировать: поскольку большая часть общества недостаточно образованна в научно-технической области, то лишь немногие могут отличить действительно выдающиеся перспективы от преувеличений, делаемых в рекламных целях или вследствие разного рода спекуляций.

Возникает вопрос: а не лучше ли было бы нам с самого начала использовать уроки зарубежного нанобума, начавшегося существенно раньше, чем у нас, в США, в Западной Европе, в Японии и даже в Китае, и не наступать на те же самые грабли? В последнее время появилась (правда, преимущественно на английском языке) обширная литература, подробно анализирующая самые различные аспекты развития нанотехнологий. Среди этой литературы несомненно выделяется книга Дэвида Берубе (David M. Berube) *Nano-Hype: The Truth Behind the Nanotechnology Buzz* ("Нанопурга. Правда о нанотехнологическом буме"). Ее автор - профессор Университета Южной Каролины, сумевший совместно со своими студентами собрать и проанализировать около 2 тыс. статей, обзоров, монографий, документов, относящихся к проблеме развития нанотехнологий. Книга Берубе заставляет любого читателя задуматься над многими проблемами. Можно ли считать нанотехнологию технологией в общепринятом смысле слова, или она в значительной мере сводится к так называемой "нанонауке"? Что нового нанонаука несет по сравнению с традиционными дисциплинами - химией, физикой, биологией? Кто говорит правду о нанонауке: ученые, пытающиеся получить гранты на проведение исследований, бизнесмены, развивающие свое дело, или неформальные общественные группы, расценивающие развитие нанотехнологий как грядущую катастрофу для человечества в целом?

Начнем с исследователей, деятельность которых, по признанию наших западных коллег, инициировало само появление нанонауки и нанотехнологии. И хотя термин "нанотехнологии" впервые появился в литературе с легкой руки профессора-материаловеда из Токийского университета Норико Танигучи (Norio Taniguchi) в 1974 г., идеологические установки этой новой науки были впервые сформулированы выдающимся физиком-теоретиком, одним из активных участников атомного проекта, Нобелевским лауреатом Ричардом Фейнманом (Richard Phillips Feynman) в его знаменитой лекции, прочитанной в Калифорнийском университете на рождественском вечере 29 декабря 1959 г. Тем самым Фейнман намного предвосхитил появление техники, позволявшей реально осуществлять процессы создания структур на атомном уровне, названные им технологией "снизу вверх". Справедливости ради следует сказать, что инициатором

процессов, породивших нанобум, стал не Фейнман, хорошо известный лишь среди ученых, а Эрик Дрекслер (Kim Eric Drexler), автор скандально знаменитой книги *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* ("Машины созидания: наступление нанотехнологической эпохи"), опубликованной в 1986 г. и широко разрекламированной Биллом Джоем (Bill Joy) в статье *Why the Future doesn't Need Us* ("Почему будущее не нуждается в нас"). В книге Дрекслера были показаны блестящие перспективы развития nanoиндустрии и вместе с тем выдвинута концепция "серой слизи", смертельно напугавшая общество. И хотя позже (в 2004 г.) Дрекслер отказался от теории ассемблеров, способных воспроизводить самих себя, именно эти амбициозные идеи о перспективности молекулярной индустрии, основанной на процессах механической сборки наноструктур с уникальными свойствами, привлекли внимание как бизнеса, так и влиятельных конгрессменов и советников президента США по нанотехнологиям и привели в конечном счете к появлению так называемой Национальной нанотехнологической инициативы (ННИ).

Самыми активными и последовательными оппонентами Дрекслера стали профессор Гарвардского университета Джордж Уайтсайдс (George Whitesides) и нобелевский лауреат Ричард Смолли (Richard Smalley). Первый из них обратил внимание на то, что способные к саморазмножению бактерии имеют размер от одного до трех микрон, но не нанометров. Это позволяет им иметь достаточно сложную молекулярную структуру, обеспечивающую возможность осуществления процессов обмена веществом и энергией с окружающей средой и запрограммированную способность воспроизводить самих себя. Нанороботы же имеют слишком малый размер и относительно примитивную молекулярную структуру, недостаточную для осуществления функций самовоспроизводства. Что касается Смолли, то он, помимо научного, имел огромный коммерческий интерес к развитию нанотехнологий. Именно он инициировал создание крупнейшей в мире компании по производству одностенных углеродных нанотрубок (Carbon Nanotechnologies, Inc), использующей созданный самим ученым уникальный реактор высокого давления. Эта компания, собственница свыше 100 патентов, контролирует производство многих функциональных материалов на основе углеродных нанотрубок. Смолли оказался еще более нетерпим к идеям Дрекслера, чем его коллеги по научному сообществу, и это особенно проявилось в их дискуссии на страницах журнала *Chemical and Engineering News*. Начисто отрицая саму идею саморазмножения нанороботов, Смолли подсчитал, что если бы такая возможность и существовала, то нанороботу, способному мультиплицировать себя со скоростью 106/с, потребовалось бы 20 млн лет, чтобы накопить одну унцию продукта саморазмножения. Однако и этот скромный по результатам процесс невозможен, т. к. он потребовал бы огромных энергетических затрат.

Многие фундаментальные исследования, без которых было бы немыслимо развитие современных нанотехнологий, проводились на протяжении десятилетий и в России научными школами академиков В.А. Каргина, П.А. Ребиндера, Б.В. Дерягина и особенно нобелевского лауреата Ж.И. Алферова. Было бы несправедливо замалчивать пионерские работы В. Б. Алесковского по развитию методов "химической сборки", то есть "послойного" синтеза, заложившие начало его научной школы в Санкт-Петербурге, успешно функционирующей и сейчас. Несомненно прорывное и практически чрезвычайно важное для своего времени достижение - создание и внедрение в атомную энергетику оригинальных технологий получения ультрадисперсных (нано-) порошков, выполненное группой советских ученых под руководством И.Д. Морохова. Примерно к тому же времени относятся фундаментальные исследования научной школы академика И.В. Тананаева, впервые предложившего дополнить классические диаграммы "состав - структура - свойство" координатой дисперсности, а также оригинальные исследования академика И.И. Моисеева и М.Н. Варгафтика по созданию "гигантских кластеров" палладия, ядро которых насчитывает около 600 атомов металла.

Попытки детерминировать научный поиск, загнать его в жесткое "прокрустово ложе" обречены на неудачу. Развитие нанонауки, нанотехнологии и nanoиндустрии в мире, вполне возможно, станет самым тяжелым испытанием для доминирующей в России жесткой системы административно-бюрократических отношений, неотъемлемой частью которой стали коррупция и сращивание чиновничества с бизнесом (Е.М. Примаков). Есть все основания полагать, что до тех пор, пока

экстраприбыли будут обеспечиваться за счет нефтяного, газового и строительного бизнеса, бизнесмены предпочтут воздержаться от понастоящему инновационных, но одновременно рискованных вложений в создание наноиндустрии. В этом смысле за рубежом ситуация кажется несомненно более благоприятной. В США, Японии и Южной Корее частный бизнес инвестирует наноразработки в объеме, не уступающем бюджетным расходам, причем только за пять лет - с 1999 до 2004 г. - размеры частных инвестиций в наноиндустрию возросли в 10 раз!

Огромную проблему представляет защита интеллектуальной собственности российских ученых. В нашей стране, по словам руководителя Роспатента Б.П. Симонова, "нет ни одного нанопатента, хотя в мире их зарегистрировано уже около 10 тыс., и 2 тыс. имеют правовую охрану на территории РФ". Как ни странно, но в соответствии с российским законодательством авторская идея не является предметом правовой охраны. Все предшествующие годы в нашей стране стимулировались, вознаграждались и поощрялись только идеи, воплощенные в конкретных технических решениях. Кстати, такие ограничения отсутствуют в патентном праве США. Увы, получить международный патент российскому исследователю не по карману, т.к. до сих пор не урегулирована проблема государственной поддержки этой деятельности.

Американский опыт показывает, что нанотехнологический бизнес не может быть успешным, если не привлечь в качестве консультантов высококвалифицированных специалистов из числа университетских профессоров. И хотя такие консультации стоят очень дорого, именно они позволяют сберечь многие миллионы долларов, вкладываемых в развитие производства нанопродуктов. Марк Ратнер (Mark Ratner), профессор Нортвестернского университета, анализируя пути повышения прибыльности нанобизнеса, пришел к выводу, сформулированному в заключении написанной им книги: "Задача не в том, чтобы построить бизнес, подходящий для нанотехнологий, а в том, чтобы создать нанотехнологии, подходящие для бизнеса".

А теперь перейдем к вопросу о позиции гражданского общества в условиях зарубежного нанобума. Можно с полной уверенностью утверждать, что эта позиция неоднозначна и в существенной мере определяется информированностью общества о позитивных и негативных тенденциях, связанных с развитием нанотехнологий и появлением различных нанопродуктов на рынке услуг. Результаты социологических опросов, проведенных в США на протяжении последних пяти лет, показывают, что о существовании нанотехнологий знают далеко не все. Наиболее информированными (71% опрошенных) оказались молодые люди в возрасте от 18 до 22 лет, тогда как примерно в той же пропорции (> 70% опрошенных) ничего не знают о нанотехнологиях дети моложе 13 лет и пожилые люди старше 60 лет. Интересно, что совсем недавно Всероссийский центр исследования общественного мнения (ВЦИОМ) подвел итоги опроса, проведенного по заказу Российской корпорации нанотехнологий. В опросе, прошедшем в апреле 2008 г., приняли участие 1600 граждан Российской Федерации в возрасте 18 лет и старше, постоянно проживающих на территории России, жители 153 населенных пунктов из 46 регионов РФ. Доля респондентов, слышавших о нанотехнологиях, составила 43% из всех опрошенных. Среди основных областей применения нанотехнологий респонденты называли: электронику - 43%, медицину - 39% и космическую промышленность - 31%. Наиболее популярным источником информации о нанотехнологиях оказались телевизионные программы - именно на них указал 81% участников опроса. 26% респондентов ВЦИОМ назвали в качестве источника информации о нанотехнологиях периодические издания, 10% - радиопрограммы и 10% - Интернет. Большая часть опрошенных (74%) считают, что нанотехнологии в России так или иначе развиваются, а более трети (41%) интересуются их развитием. Подавляющее большинство участников опроса (81%) считают, что нанотехнологии принесут людям пользу. Половина опрошенных (52%) купили бы продукцию, в которой используются нанотехнологии. Но как бы то ни было, эффективность любых широких дискуссий о судьбах нанотехнологий требует участия в них тех, кто имеет хотя бы минимальные познания в области физики, химии, биологии; этические дебаты вокруг нанотехнологий требуют также участия широкого круга специалистов, включая не только ученых и инженеров, но и социологов, психологов, юристов, философов, экономистов, бизнесменов и политиков.

Важную роль в формировании позитивного имиджа нанотехнологий сыграл и продолжает играть Foresight Nanotech Institute, созданный Эриком Дрекслером и имеющий поддержку многих крупных компаний. В России аналогом этого института стал Форсайт-центр Высшей школы экономики. Глобальная цель Foresight Nanotech Institute состоит в поиске путей улучшения качества жизни людей, особенно в связи с развитием молекулярной нанотехнологии. Институт видит свою новую миссию в поиске таких путей развития нанотехнологий, которые будут способствовать решению следующих глобальных задач:

- создание новых экологически чистых источников энергии;
- обеспечение потребностей в чистой воде;
- улучшение здоровья и увеличение продолжительности жизни;
- максимальное увеличение продуктивности сельскохозяйственного производства;
- доступность информационных технологий повсюду;
- продвижение в освоении космического пространства.

Итак, рассмотренные выше особенности зарубежного (в первую очередь американского) нанобума позволяют извлечь определенные уроки и сделать некоторые выводы применительно к российской действительности. Как Ю.А. Золотова слова из доклада Президента США Билла Клинтона, представленного прессе 3 августа 1994 г.: "Будущее наших детей определяется тем, будем ли мы продолжать вкладывать средства в фундаментальную науку".

Первый из них касается непростительно малого финансирования фундаментальных исследований в области нанонауки и нанотехнологий в России. В США значительную часть (не менее одной трети) бюджетных расходов составляют средства на проведение именно таких исследований, осуществляемых в университетах и в национальных лабораториях. Лежащая на поверхности прагматическая составляющая, ставшая безусловным приоритетом деятельности ГК "Роснано", позволяет "подтянуться" к разработкам мирового уровня, но никогда не обеспечит приоритета России в области нанотехнологий. Причина в том, что переход от новой научной идеи к конечному ее материальному воплощению - товару - достаточно долг, поэтому немедленные "инновации" и "закупки" будут основаны лишь на сиюминутных, часто случайных находках, приоритет многих из которых давно уже закреплен за нашими западными или азиатскими коллегами, что автоматически отсекает в подобных случаях успешный выход на мировой рынок. Как тут не вспомнить приведенные в книге академи Другой урок зарубежного нанобума сводится к необходимости создания мощных научно-образовательных центров (НОЦ), оснащенных самым современным научным оборудованием и способных обеспечить подготовку высококлассных специалистов, дав им полноценное междисциплинарное образование. И хотя необходимость целенаправленной подготовки нанотехнологических кадров осознается всеми без исключения, многочисленные научно-образовательные центры, возникающие в нашей стране как грибы после дождя, по-прежнему не очень приспособлены для проведения современных фундаментальных исследований. То же самое можно сказать и о междисциплинарном образовании, опыт организации которого в нашей стране от носительно невелик и ограничивается несколькими классическими и технологическими университетами. По оценке Михаила Роко (Mihail Roco), ведущего американского специалиста в области нанотехнологий, для достижения рынком нанопродуктов к 2015 г. объема продаж в трлн только в США потребуется подготовить 800 тыс. специалистов, а поскольку мы поставили задачу обеспечить отечественными нанопродуктами до 4% мирового рынка, то необходимо иметь не менее 30 тыс. квалифицированных или переквалифицированных на нанотехнологии специалистов.

Линия опережающего развития наиболее важна и наиболее приемлема для Российской Федерации, поскольку базируется не на уже известных и, как правило, запатентованных в других странах приемах улучшения качества существующих изделий и продуктов за счет использования нанотехнологий, а на генерации новых знаний в наиболее перспективных областях науки и техники и создании принципиально инновационных разработок, реализующих новые для промышленности физические или физикохимические принципы функционирования материалов и устройств.

Осуществление этой генеральной линии, в свою очередь, невозможно без развития системы нанотехнологического образования на уровне как вновь поступающих в вузы студентов, так и магистратуры, аспирантуры, докторантуры, адресной поддержки перспективных исследований молодых ученых. Молодые исследовательские кадры - тот богатый человеческий ресурс, опора на который может позволить ответить на мировые вызовы и осуществить поставленные перед российским обществом важнейшие задачи. И в этом плане ведущие вузы РФ способны сохранить то лучшее, что было заложено в отечественной системе образования и пополнить последнее междисциплинарностью, а также способностью владеть современным синтетическим и диагностическим инструментарием.

В случае развития фундаментальных исследований и фундаментальной подготовки научных кадров в области нанотехнологий будет в какой-то степени восстановлена и историческая справедливость, поскольку предпосылки к развитию нанотехнологий в мире были заложены в том числе и российскими учеными. Несколько месяцев назад созданная РАН Комиссия по нанотехнологиям во главе с нобелевским лауреатом Ж. И. Алферовым разработала обширную программу фундаментальных исследований в области нанотехнологий (ее образовательную часть формировал коллектив под руководством ректора МГУ академика В. А. Садовниченко), получившую одобрение общего собрания РАН. При всех условиях система нанотехнологических НОЦ, разрабатываемая в нашей стране, будет отлична от американской, т.к. последняя базируется на университетах, а у нас в качестве "центров кристаллизации" могут выступать также академические институты, во всяком случае, некоторые из них. Создание таких центров совершенно необходимо не только для аналитического, методического и научного обеспечения передовых научных исследований, но и для формирования системы эффективного нанотехнологического образования и переподготовки специалистов. В России, к счастью, уже развивается нанотехнологическое движение. К нему относится формирование Общественного совета по созданию эффективной системы образования в области наносистем, наноматериалов и нанотехнологий, Нанотехнологического общества Российской Федерации, старт олимпиадного движения, фестивалей науки, активной исследовательской работы студентов и аспирантов.

Следующий урок зарубежного нанобума, несомненно, касается роли бизнеса в развитии нанотехнологий. Помимо крупного бизнеса, не всегда проявляющего интерес к чрезвычайно наукоемкому производству нанопродуктов, не способному к достаточно быстрой отдаче, очевидна необходимость активного вовлечения малого бизнеса по зарубежному образцу. При этом, если учитывать специфику нанотехнологического бизнеса, в качестве субъектов могли бы выступать как сотрудники университетов или академических институтов, так и сами эти организации.

Еще один исключительно важный урок зарубежного нанобума связан с необходимостью изучения социальных аспектов и последствий развития нанотехнологий в РФ. В 2000 г. Национальный научный фонд США впервые провел широкую дискуссию на тему "Социальное значение нанонауки и нанотехнологии" с участием ученых, бизнесменов и политиков. В ходе этой дискуссии было наглядно показано, что междисциплинарность нанотехнологии подразумевает не только интеграцию различных естественных наук (физика, химия, биология), но и интеграцию естественных наук с гуманитарными (социология, этика, психология). Проблеме оценки рисков, связанных с производством и применением нанопродуктов, следует уделить исключительное внимание, создав независимую сертификационную службу для выработки стандартов, метрологии и объективной оценки качества нанопродуктов. В то же время нужно отметить, что эта проблема - прежде всего предмет фундаментальных и практико-ориентированных исследований, и ее использование в политических целях может привести к развитию в обществе необоснованных "нанофобий", а также к созданию излишне жесткой запретительной системы регистрации и использования нанопродуктов, что может нанести существенный вред развитию нанотехнологий.

Наконец, зарубежный опыт, особенно накопленный в США и странах ЕС, показывает необходимость создания целостной системы подготовки всего российского общества к переменам, связанным с развитием нанотехнологий и использованием нанопродуктов, включая разработку

новых школьных и дистанционных курсов, выпуск научно-популярной литературы, телевизионные передачи.

Таким образом, уроки зарубежного нанобума - это ценный практический опыт для формирования всех взаимосвязанных направлений развития нанотехнологий в РФ. Игнорирование накопленных фактов может привести к весьма плачевным последствиям, которых хотелось бы избежать за счет дальновидного планирования всех научных, технологических, экономических и социальных аспектов развития нанотехнологий в нашей стране.

Суперкомпьютеры в нанотехнологиях

Компания «Т-Платформы» - ведущий российский разработчик и производитель комплексных решений для высокопроизводительных вычислений и центров обработки данных. "Т-Платформы" является единственной отечественной компанией, пять собственных решений которой вошли в список самых мощных компьютеров мира Top500. Среди них – суперкомпьютер СКИФ МГУ «Чебышев» производительностью 60 Тфлопс на базе российских blade-систем «Т-Платформы», занявший в Top500 36-ю позицию. Компания специализируется на разработке готовых программно-аппаратных вычислительных комплексов любой сложности с предустановленными специализированными и прикладными программными продуктами, оптимизированные под конкретные задачи заказчика. Компания предлагает широкий спектр продуктов для высокопроизводительных вычислений и центров обработки данных, таких как кластерные системы и суперкомпьютеры с общей памятью, серверы, системы хранения данных, специализированное программное обеспечение, а также полный комплекс услуг Центра Кластерных Технологий для пользователей высокопроизводительных вычислений, включая услуги аренды машинного времени и оборудованных площадей.

Возможность работы с материей на уровне индивидуальных атомов представляет собой важнейшую цель прикладной науки. Однако современное представление о нанотехнологиях, в первую очередь, ассоциируется с такими областями, как миниатюризация полупроводниковой электроники или разнообразные наночастицы (нанотрубки, нанокластеры, нанокристаллы), применяемые самостоятельно, например, в качестве катализаторов, или для создания композитных материалов с улучшенными свойствами. В то время как сами по себе такие приложения обладают огромной важностью для развития промышленности, в большинстве случаев они всё же не достигают полностью масштабов прецизионных манипуляций с веществом с атомной точностью. Их эффективность, хотя она и высока по сравнению с "обычными" технологиями, составляет довольно небольшую долю от того, что теоретически может быть достигнуто при полной реализации потенциала нанотехнологий (см., напр., К. Е. Drexler, Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation).

Колоссальная разница в масштабах между объектами привычного нам мира, с одной стороны, и объектами атомарного масштаба — с другой, делает чрезвычайно затруднительными экспериментальные исследования в области нанотехнологий. Получаемая в экспериментах с атомарным разрешением информация имеет всё более косвенный характер, а сами эксперименты часто не позволяют получить достаточное количество информации о сколько-нибудь сложных наноразмерных системах, состоящих из большого числа различных, сложным образом взаимодействующих друг с другом частей. Ещё сложнее дело обстоит с временным разрешением экспериментов: химические и физические процессы, происходящие в наноструктурах, обычно имеют характерные времена от фемтосекунд до наносекунд; детальное слежение за процессами, протекающими за такие времена, обычно невозможно — просто потому, что экспериментальные устройства точно так же состоят из атомов и молекул, и их временное разрешение ограничено теми же временными масштабами.

Дополнительную сложность представляет собой интерпретация экспериментальных результатов. Дело в том, что наноструктуры относятся к "промежуточному" диапазону размеров, на котором всё ещё определяющее значение имеет атомарная структура объектов, но сами объекты уже состоят из большого количества атомов. Из-за последнего обстоятельства соображения "химической (физической) интуиции" часто уже не позволяют хорошо понять поведение наноструктур, а первое обстоятельство затрудняет (часто — до невозможности) построение более-менее простых феноменологических математических моделей.

Как и в других случаях, когда постановка прямого эксперимента или разработка простой модели затруднительна или невозможна (будь то астрофизика, исследование процессов в недрах планет при сверхвысоких температурах и давлениях, изучение сейсмической активности или разработка ядерного оружия), в такой ситуации незаменимым методом исследования и проектирования является компьютерное моделирование. При этом вместо информативных высокоуровневых феноменологических моделей, разработанных под конкретную задачу, используются более универсальные принципы (например, фундаментальные законы квантовой механики). За счёт такого "отката назад" по лестнице уровней описания системы, вычислительная сложность задачи сильно возрастает; однако, колоссальное превосходство вычислительной мощности компьютеров над возможностями человека часто позволяет решить задачи, принципиально неразрешимые на уровне "карандаша и бумаги".

С другой стороны, детальное моделирование атомарной структуры и эволюции нанообъекта позволяет исследователю проследить буквально за всеми аспектами поведения модельной системы с любым нужным ему пространственным и временным разрешением (при условии наличия достаточных вычислительных ресурсов) — от макроскопических параметров вроде общей формы частицы и до локальных характеристик отдельных атомов. При этом тот факт, что моделирование основывается на базовых физических законах, позволяет обнаружить новые (эмерджентные) особенности поведения модельной системы, которые, по самому построению, в высокоуровневых теориях должны вводиться "руками" на основе уже имеющихся знаний. В этом отношении моделирование весьма схоже с реальным физическим экспериментом, и во многих случаях исследователь, проводящий моделирование на компьютере, ощущает себя подобно экспериментатору, работающему со сложным измерительным прибором. Однако, доступность детальной информации о системе даёт исследователю то, что часто невозможно в эксперименте: возможность проследить и понять, какие именно фундаментальные факторы обуславливают те или иные особенности поведения системы.

Наконец, компьютерное моделирование оказывается поистине незаменимым инструментом при решении "инженерных" задач, целью которых является оптимизация тех или иных наноструктур и наноматериалов под заданное приложение. При этом большую выгоду можно получить с помощью "виртуального прототипирования", рассчитывая характеристики объектов-кандидатов без необходимости их реального синтеза, что подчас является слишком дорогостоящей задачей, чтобы отбор можно было произвести на основании реальных измерений. Пользу от такого подхода в значительной мере уже ощутила фармакология: "виртуальный скрининг" малых молекул на предмет сродства к белку-мишени уже сейчас позволяет сэкономить миллионы долларов на разработке препаратов и сократить сроки выхода препарата на рынок на многие месяцы. В случае нанотехнологий такой подход осложняется большим разнообразием возможных физических, химических и биологических приложений, каждое из которых требует своего уникального подхода, а также — большим разнообразием и сложностью неорганической химии по сравнению с биоорганической.

Применение методов компьютерного моделирования в нанотехнологиях уже зарекомендовало себя как важнейший исследовательский инструмент, что видно по лавинообразному росту числа публикаций в научных журналах нанотехнологической тематики, посвящённых расчётам свойств наноструктур — как самостоятельным, так и в тесном сотрудничестве с экспериментаторами. Моделирование позволяет в мельчайших деталях предсказать и проследить за атомарной структурой и динамикой наночастиц и наноматериалов, исследовать процессы химического

катализа на наноуровне, изучать электронную структуру и транспортные свойства молекулярных электронных устройств – и так далее. Фактически, на сегодняшний день, именно нанотехнологии и смежные области являются основными потребителями машинного времени во всех мировых суперкомпьютерных центрах широкой специализации.

Доступность вычислительной техники петафлопсного масштаба (производительностью более квадриллиона операций в секунду) постепенно позволяет исследователям переходить от моделирования “по аналогии” на примерах простых модельных систем к вполне реалистичным расчётам на размерных и временных масштабах, действительно имеющих значение в нанотехнологиях. С другой стороны, большая важность методов компьютерного моделирования в нанотехнологиях стимулирует чрезвычайно активную разработку новых параллельных вычислительных алгоритмов, необходимых для использования столь больших мощностей. Наглядной иллюстрацией служит тот факт, что первые два прикладных научных расчёта, в ходе которых был преодолен рубеж производительности в 1 петафлопс, представляли собой исследования по молекулярному моделированию: расчёты электронной структуры высокотемпературных сверхпроводников (купратов) квантовым методом Монте-Карло и изучение эффекта гигантского магнитосопротивления в магнитных наночастицах. Оба рекорда производительности были поставлены на суперкомпьютере Jaguar, установленном в Национальной лаборатории Оак Ридж в США и занимающем второе место в последней редакции списка Top500 самых высокопроизводительных суперкомпьютеров мира (суммарная производительность суперкомпьютерного комплекса составляет 1,64 Петафлопс).

Наиболее показательные результаты с использованием суперкомпьютеров в области нанотехнологий продемонстрированы именно на Западе, где уже наработан большой опыт применения высокопроизводительных вычислений в области нанотехнологий. Использование возможностей суперкомпьютеров является широко применяемой практикой при разработке новых перспективных материалов и устройств и опирается на серьезную поддержку ведущих лабораторий, располагающих мощными суперкомпьютерными ресурсами. Так, например, для поддержки исследования свойств воды в малоразмерных системах на суперкомпьютере Национальной Лаборатории Argonne, США (производительность – 557 триллионов операций в секунду или терафлопс) в 2008-2009 г.г. выделено 8 млн. процессорных часов. На проект развития интегрального подхода к рациональной разработке химических катализаторов на суперкомпьютере Jaguar Национальной Лаборатории Оук Ридж, США в 2008 году выделено 10 млн. процессорных часов, а в 2009 – уже 30 млн. часов. Поддержка ряда подобных исследований в области нанотехнологий осуществляется в рамках программы INCITE Министерства Энергетики США, а также в рамках родственных программ.

В России с развитием отрасли нанотехнологий использование высокопроизводительных вычислений также приобретает все большее значение для научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, и ряд научных коллективов уже активно применяет методы компьютерного моделирования.

Коллектив физического факультета Южно-Уральского государственного университета использует суперкомпьютер "СКИФ Урал" производительностью 15,9 Тфлопс, разработанный и поставленный компанией «Т-Платформы», для исследований в области компьютерного материаловедения на атомном уровне. В ходе проекта ведется многомасштабное моделирование процессов формирования (самосборка) металлических наночастиц из расплавов, моделирование энергии адсорбции молекул внутри углеродных нанотрубок, а также моделирование потока молекул через нанотрубки. В результате исследований построены межчастичные EAM - потенциалы взаимодействия для чистой меди, обеспечивающие реалистичное моделирование процессов образования наночастичных кластеров Cu; проведено моделирование и определены зависимости энергии адсорбции молекул АНЗ внутри углеродных нанотрубок от радиуса и дефектности последних; определена атомная и электронная структура, распределение по размерам и энергетические характеристики наночастиц, образующихся внутри расплавов жидких металлов в области близкой к критической.

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий механики и оптики (головной исполнитель проекта) использует суперкомпьютер T-Edge128, разработанный компанией «Т-Платформы», производительностью 2,7 Тфлопс, установленный в Нижегородском государственном университете им.Н.И.Лобачевского (соисполнитель проекта), для разработки программного комплекса для квантово-механических расчетов и моделирования наноразмерных атомно-молекулярных систем и комплексов. Разрабатываемый комплекс обеспечит компьютерное моделирование и расчёт наноструктур и наноматериалов по таким направлениям как наноэлектроника; наноматериалы для сверхпроводящих, магнитных и оптических систем; диагностика и контроль свойств наноструктур; вычисления электронной структуры наноматериалов и тонких плёнок; моделирование наноструктур конструкционного назначения, наноструктур защитных покрытий, наноматериалов функционального назначения со специальными физическими свойствами (поглощающие, отражающие или пропускающие излучения различной природы); исследования гетероструктур; наноматериалы для фотоники и телекоммуникаций, включая оптическую связь, спецсвязь, оптическую запись, хранение и обработку информации; наноматериалы для лазерной техники; наноматериалы для медицины.

В Волгоградском государственном университете на кафедре теоретической физики и волновых процессов установлен "персональный суперкомпьютер" «Т-Платформы» T-EdgeMini (производительность - 150 Гфлопс, планируется увеличение до 250 Гфлопс). Авторский метод расчета пьезоэлектрических констант позволил разработать физические принципы создания пьезоэлектрического трансформатора на основе бор-нитридных нанотрубок. Трансформатор может применяться для преобразования энергии в качестве пьезоэлектрического сенсора и в качестве элемента сканирующего туннельного микроскопа. Использование многопроцессорной техники позволило коллективу кафедры на основе высокоточных квантовых химических методов провести компьютерное моделирование трансформатора, который сможет работать с очень малыми напряжениями - до 1 мкВ. Авторским коллективом была предложена кубитовая ячейка на основе бор-нитридных нанотрубок, заполненных ионами щелочно-земельных или атомами щелочных металлов. Ячейка позволит моделировать логические операции Not и Control-Not в квантовом компьютере. Использование многопроцессорной техники позволит провести компьютерное моделирование наноструктуры, содержащей около десятка кубитовых ячеек, и применить высокоточные неэмпирические квантово-химические методы для их изучения.

На Биологическом факультете Московского Государственного Университета имени М. В. Ломоносова кластер «Т-Платформы» T-Forge24 (производительность - 460 Гфлопс) помогает ученым вести фундаментальные исследования по таким направлениям как полноатомное молекулярное моделирование функциональных наночастиц и их взаимодействия с биоструктурами, а также моделирование транспорта наночастиц и ионов через биомембраны.

В Центре "Наноструктурные материалы и нанотехнологии" Белгородского государственного университета установлен суперкомпьютер T-Edge64 (производительность – 1,4 Тфлопс), разработанный компанией «Т-Платформы», который используется учеными для исследований структуры и свойств наноструктурных металлических систем методами компьютерного моделирования на атомном уровне. Среди направлений исследований - расчеты из "первых принципов" (пакет ABINIT, VASP), построение потенциалов межатомных взаимодействий в рамках метода погруженного атома (EAM), компьютерное моделирование свойств объёмных наноструктурных материалов и наночастиц методами молекулярной динамики и статики.

Благодаря современным суперкомпьютерам учёным уже доступны квантово-механические расчёты для систем из десятков и сотен тысяч атомов, и миллиардов атомов – методами эмпирической молекулярной динамики. В перспективе с ростом производительности вычислительной техники компьютерное моделирование не только позволит решать всё новые исследовательские задачи, но и станет столь же незаменимым инструментом проектирования наносистем с необходимыми свойствами, каковым сейчас является в современном машиностроении и микроэлектронике, где сложность проектируемых объектов многократно превосходит доступную пониманию инженеров без помощи компьютеров.

Всеволод Опанасенко, Генеральный директор компании «Т-Платформы»: «Использование суперкомпьютеров является определяющим фактором успеха в области исследований объектов наноуровня, и в перспективе – создания новых материалов и устройств на их основе. Ученые получают возможность исследовать целые системы методами компьютерного моделирования, что на порядки сокращает затраты на экспериментальные исследования и сроки завершения проектов, позволяет сделать новые открытия там, где раньше это было невозможно. Поэтому наша компания серьезно заинтересована в поддержке нано-науки средствами высокопроизводительных вычислений. Кроме того, мы активно развиваем собственное сервисное направление в области высокопроизводительных расчетов.

Компания «Т-Сервисы», входящая в состав холдинга «Т-Платформы», помимо предоставления доступа к собственным суперкомпьютерным ресурсам, имеет возможность оказывать квалифицированную поддержку при решении комплексных задач с использованием методов компьютерного моделирования. Мы также открыты для сотрудничества с различными научными коллективами с целью решения вычислительных задач в области нанотехнологий с использованием суперкомпьютеров».



Суперкомпьютер компании "Т-Платформы" СКИФ МГУ «Чебышев»



"Персональный суперкомпьютер" компании "Т-Платформы" T-Edge

Причина глобального потепления Земли - нанопоры в атмосфере

С. Л. Курилин

С. Л. Курилин - кандидат наук, старший преподаватель БелГУТ

...И рубают финики лопари, а в Сахаре снега невпроворот

Это гады- физики на пари раскрутили Землю наоборот...

Эти строчки из шуточной (на первый взгляд) песни-предупреждения почти полвека сдерживают порывы различного рода псевдоучёных авантюристов, но, к сожалению, оказывается, не всех. В конце 70^х прошлого века обнаружено, что, в результате неосторожных экспериментов группы учёных-физиков, в ноосфере Земли произошло увеличение электрической постоянной ϵ_0

с $(36\pi)^{-1} \cdot 10^{-9} \approx 8,842 \cdot 10^{-12}$ до $\sim 8,854 \cdot 10^{-12}$ (Фарад/м),

т. е. почти на 0,14%. Электрическая постоянная по сути является абсолютной диэлектрической проницаемостью вакуума. Вакуум используют только специалисты, так что для большинства населения нарушение проницаемости вакуума прошло незамеченным. Однако следует помнить об электромагнитной природе света, ведь одновременно автоматически увеличилась абсолютная диэлектрическая проницаемость всех веществ, а главное воздуха ($\epsilon_{\text{ABC}} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{\text{отн}}$).

Из-за увеличения проницаемости атмосферы возросли потери энергии света, и он замедлил своё движение примерно на 0,07% с $3 \cdot 10^8$ до $299792458 \pm 1,2$ (м/с),

что и зафиксировала 17-я Генеральная конференция по мерам и весам. Энергия света, отражающегося от Земли, стала примерно на 0,14% меньше (энергия пропорциональна квадрату скорости), а возросшая утечка энергии света в атмосферу, вызванная увеличением диэлектрической проницаемости воздуха, перегревает Землю и растапливает ледники.

Как избежать наводнений? Как восстановить прежнюю скорость света?

Несмотря на то, что длина световых волн (от 380 нм фиолетового цвета, до 760 нм красного) вполне подвластна существующим нанотехнологиям, когда речь заходит об утечках, следует оперировать размерами на несколько порядков меньше. Прогнозируемое уже в ближайшие годы создание и внедрение пикотехнологий позволит закрывать даже мельчайшие поры (пико= 10^{-12}) и, уменьшая проницаемость вакуума (и воздуха!), увеличивать скорость света ориентировочно на

$299792458 \times (\sim 10^{-12}) \approx 3 \cdot 10^{-4}$ (м/с), т.е. на = 0,3 (мм/с).

На первый взгляд это мизерный эффект, однако, учтём, что в году $\sim 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365,25 = 31\,557\,600$ с.

Простейшие расчёты показывают, что применение пикотехнологий позволит покрыть недостачу скорости 207542 м/с за 21,9 года. При надлежащем финансировании работ в этом направлении, прежняя скорость света может быть практически восстановлена до 2030 г., и человечество вздохнёт с облегчением. А дальше? Способны ли пикотехнологии не только снизить проницаемость вакуума до прежнего значения, но и продолжать её снижать, обеспечивая непрерывное ускорение света? Будем надеяться...

Волшебный пар

В. В. Уточникова

В.В.Уточникова – аспирант ФНМ МГУ

Органические светоизлучающие диоды (ОСИД) все уверенно занимают свое место в качестве источников света для фонарей, экранов, дисплеев мобильных телефонов и плееров. Эти устройства обладают широким (до 170°) углом обзора, снижают энергопотребление и обладают большей продолжительностью службы по сравнению с типично используемыми устройствами. Работа таких устройств основана на люминесценции эмиссионного органического слоя при приложении напряжения. Таким образом, одной из важных задач при создании таких устройств является выбор такого материала, который будет обладать яркой люминесценцией и стабильностью. В режиме работы устройства, а также обладать хорошей проводимостью носителей заряда – электронов и дырок, – при рекомбинации которых в эмиссионном слое и происходит свечение. Кроме того, важным преимуществом ОСИД является то, что они обладают плоской структурой, что, однако, диктует и ограничение на материалы, входящие в его состав. Так, материал эмиссионного слоя, кроме люминесцентных характеристик, должен обладать и способностью образовывать тонкие пленки.

В настоящее время основными материалами, используемыми в качестве активных слоев СИД устройств являются органические сопряженно-полимерные соединения, комплексы s-, p- и d-элементов и РЗЭ с органическими лигандами, и каждый из этих классов имеет свои достоинства и недостатки. Исследование органических сопряженных полимеров как потенциальных материалов для ЭЛУ началось после того, как в 1977 году была открыта металлическая проводимость полиацетилена [1], и на сегодняшний день лабораторные устройства на основе органических материалов достигают яркости 10000 Кд/м^2 при напряжении от 5 В, что делает их конкурентоспособными. Кроме того, уже получены промышленные СИД, их время жизни достигает 200000 часов, а начальная яркость – $400\text{--}500 \text{ Кд/м}^2$ [2], созданы гибкие дисплеи, телевизионные панели с диагональю до 40 дюймов, гибкие клавиатуры с люминесцирующими клавишами. Однако, используемые в настоящее время органические материалы имеют ряд недостатков:

1. Способность к окислению, неустойчивость к воздействию влаги и низкая термическая стабильность;
2. Широкая (~200 нм) полоса спектра люминесценции;
3. Невозможность контролировать степень полимеризации;
4. Низкая эффективность люминесценции устройства (фундаментально ограничена 25 %).

Использование координационных соединений s-, p- и d-элементов позволяет решить практически все эти проблемы, кроме того, что в этом случае люминесценция также как и в случае органических соединений обусловлена флуоресценцией органического лиганда, поэтому спектры их люминесценции также содержат широкий пик. Наиболее распространенным материалом этого класса является комплекс алюминия с 8-оксихинолином (AlQ_3), который обладает не только интенсивной фотолюминесценцией, но и хорошим транспортом носителей заряда.

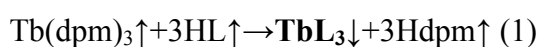
В комплексах РЗЭ люминесценция происходит за счет того, что свет поглощается органической частью комплекса и излучается в виде спектральной линии иона РЗЭ [3]. В спектрах люминесценции этих соединений проявляются гораздо более узкие пики люминесценции (ширина на полувысоте 10 нм), они не имеют ограничений на внутреннюю квантовую эффективность, которая теоретически может достигать 100 %, и более термически стабильны по сравнению с органическими сопряженными полимерными материалами. Поскольку эффективность переноса энергии зависит от природы лиганда и иона РЗЭ, поиск новых комплексов РЗЭ с органическими лигандами, обладающих высоким квантовым выходом люминесценции, а также создание эффективных ЭЛ устройств на их основе является перспективным направлением исследования.

ЭЛ материалы входят в состав СИД в виде тонких пленок, поэтому в случае каждого соединения необходимо выбрать способ осаждения тонких (~50-100 нм), гладких (rms ~5 нм), непрерывных и прозрачных пленок. На эти характеристики непосредственно влияет метод их нанесения, поэтому его выбор является очень важным. Среди основных методов осаждения пленок ЭЛ материалов можно выделить: 1) физическое осаждение из газовой фазы (Physical Vapor Deposition, PVD) – для летучих соединений и 2) нанесение раствора вещества на вращающуюся подложку (центрифугирование) – для нелетучих соединений. Известно, что при осаждении из газовой фазы получаются пленки более совершенного качества [4]. Для осаждения из газовой фазы координационных соединений может быть использован метод химического осаждения из газовой фазы (CVD), в ходе которого тонкая пленка материала образуется как продукт необратимых реакций исходных летучих соединений [5].

Металл-органические координационные соединения редкоземельных элементов (КС РЗЭ), обладающие люминесцентными свойствами, являются одним из наиболее перспективных классов химических соединений, которые могут быть использованы в качестве эмиссионных слоев светоизлучающих диодов (СИД). Сочетание в одной молекуле ионов металлов и органических лигандов открывает широкие возможности целенаправленного изменения состава и строения КС, а следовательно их оптических свойств. В качестве эмиссионных слоев в СИД используются координационные соединения различных классов, среди которых соединения РЗЭ с

органическими лигандами занимают особое место. Преимуществом этого класса комплексов как потенциальных материалов связано с их оптическими свойствами, а именно, с возможностью достижения высокой монохромности излучения и увеличения квантовой эффективности СИД. Кроме того, многие из этих соединений обладают высокой термической стабильностью, что позволяет избежать деградации устройств в процессе работы.

Для превращения КС в материал необходимо выбрать метод и условия получения его тонких пленок, поскольку СИД имеют планарную структуру. Наиболее распространенными методами получения тонких пленок КС являются: (1) метод центрифугирования и (2) метод газофазного осаждения. Для использования первого метода необходимо, чтобы вещество обладало хорошей растворимостью в органических растворителях, а для второго – летучестью. Однако, некоторые соединения, обладающие высокими характеристиками функциональных свойств, нелетучи и плохо растворимы в органических растворителях, что затрудняет использование традиционных методов осаждения их тонких пленок. Для нанесения пленок таких соединений был предложен принципиально новый подход газофазного осаждения пленок нелетучих соединений по обменной реакции между летучими компонентами в газовой фазе с последующим осаждением нелетучего комплекса в виде тонкой пленки [6, 7]:

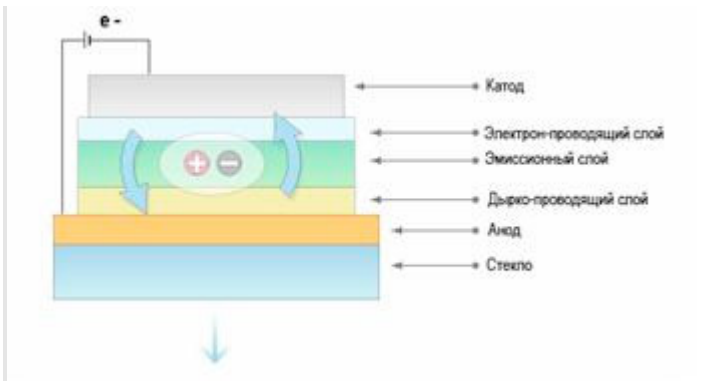


Этот подход был опробован на примере ароматических карбоксилатов тербия – бензоата $\text{Tb}(\text{bz})_3$ и феноксибензоата $\text{Tb}(\text{pobz})_3$, которые обладают интенсивной фотолюминесценцией и термической и химической стабильностью, что важно для создания на их основе ОСИД. Для этого был специально сконструирован горизонтальный вакуумированный реактор с тремя температурными зонами (T_1 , T_2 и T_3). В зоны T_1 и T_2 помещали реагенты – кислоту Hcarb и Tb(dpm)_3 , соответственно, а в зоне T_3 происходило осаждение конечного продукта. Реакцию проводили в вакууме (10 мм рт. ст.) в потоке газа-носителя (воздух). Подбором значений T_1 и T_2 варьировали соотношение давлений паров реагентов. Конструкция реактора обеспечивала взаимодействие паров реагентов в горячей зоне реактора, что исключало осаждение вместе с продуктом реакции исходных реагентов, которые летучи при температуре синтеза. Осаждение продукта происходило на подложке в горячей зоне реактора, а избыток летучих исходных реагентов конденсировался в зоне реактора, находящейся при комнатной температуре. При этом удалось получить прозрачную пленку, среднеквадратичная шероховатость (rms) поверхности которой составляла 30 нм. Сглаживания поверхности пленки удалось достичь при дополнительном выдерживании пленки в вакууме при 250 °С в течение часа, что привело к образованию гладкой пленки с $\text{rms} \sim 2$ нм. При этом толщина пленки составляет около 100 нм, что достаточно для создания ОСИД.

Предложенный метод все шире раскрывает горизонты перспектив светоизлучающих диодов, увеличивая класс соединений, которые могут вскоре засветить в настоящих диодах.

Литература

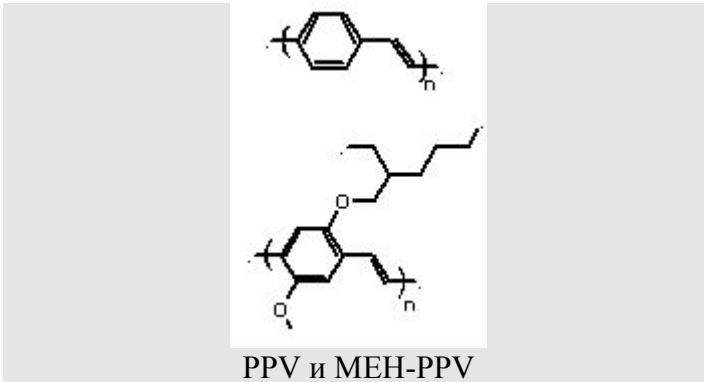
1. С.К. Chiang et. al. // Phys. Rev. Lett. 39 (1977) 1098
2. A.J. Heeger//Solid State Commun. 107 (1998) 673
3. S.I. Weissman.// J. Chem. Phys. 10 (1942) 214
4. Кауль А.Р.//Ж. Всес. Хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. 4 (1989) 4925
5. Васильев В.Ю., Репнинский С.М.// Усп. хим. 74 N4 (2005) 1
6. Котова О.В., Елисеева С.В., Уточникова В.В., Самойленков С.В., Кузьмина Н.П.// Коорд. Хим. 33. N6 (2007) 1
7. Уточникова В.В., Щукина Е.М., Котова О.В., Кузьмина Н.П.// ЖНХ, 2008, 53, №12, с. 1



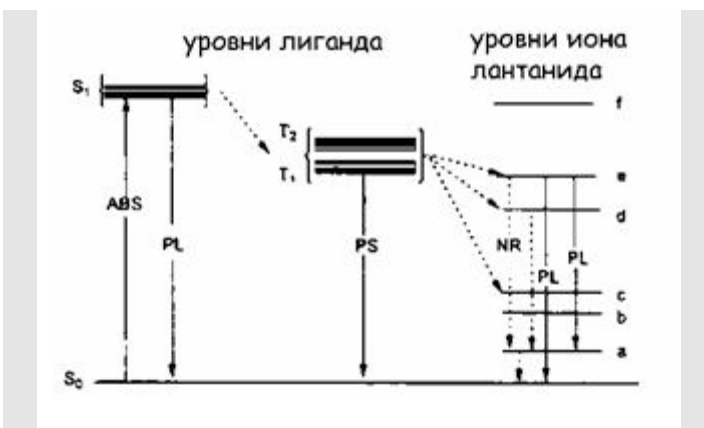
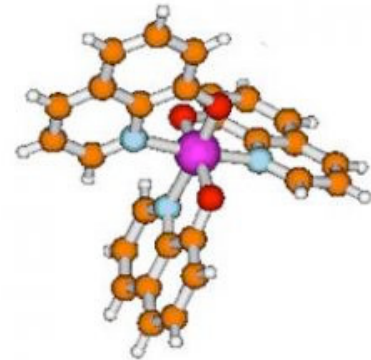
Структура органического светоизлучающего диода



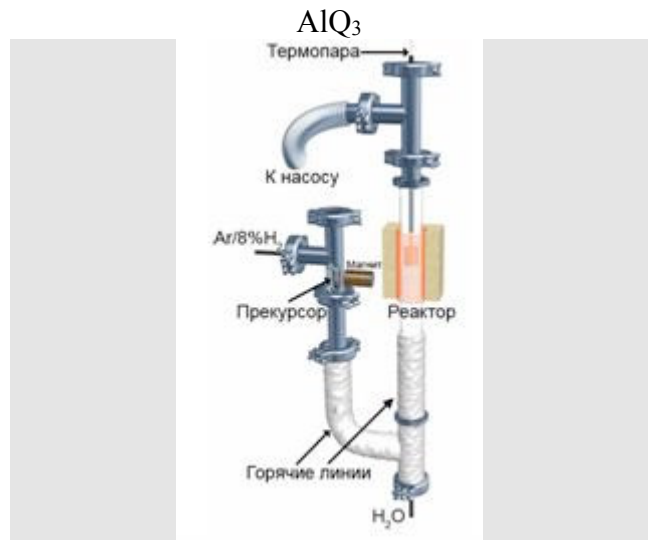
В клавиатуре "Оптимус" каждая клавиша является отдельным дисплеем, отображая именно то, чем она управляет в данный момент



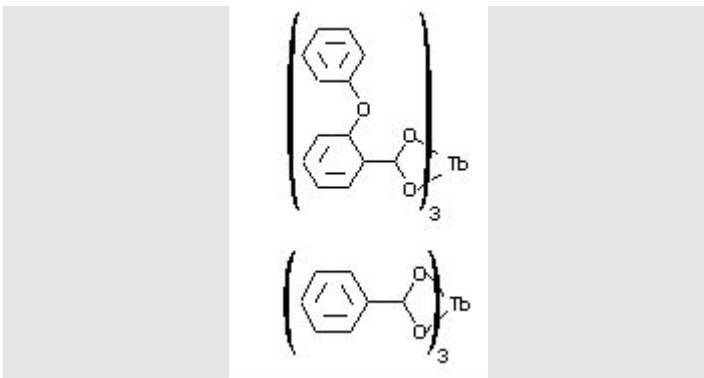
PPV и MEH-PPV



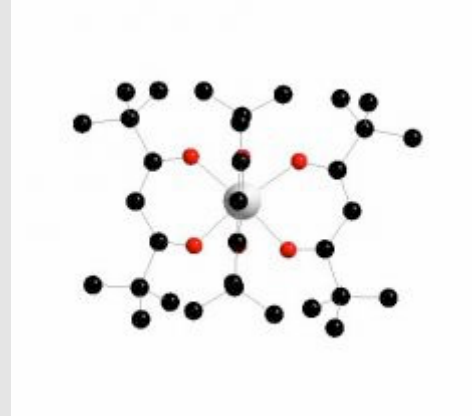
При люминесценции комплексов лантанидов свет поглощается органической частью молекулы, после чего энергия переносится на центральный ион, за счет которого и происходит люминесценция



В методе CVD летучий прекурсор, испаряясь, попадает на подложку, где окисляется, формируя пленку нелетучего продукта



Tb(pobz)₃ и Tb(bz)₃



Структура Eu(dpm)₃

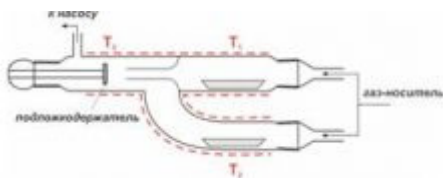
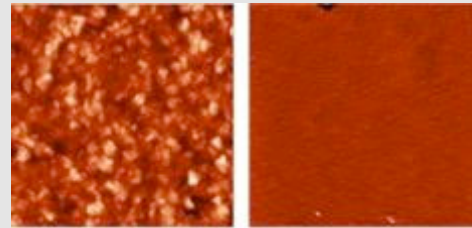
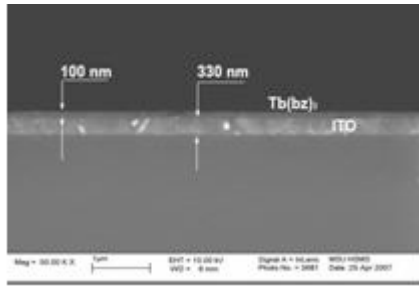


Схема установки для газофазного синтеза с тремя температурными зонами



Сглаживание поверхности непосредственно осажденной пленки после дополнительной температурной обработки



Скол пленки $Tb(bz)_3$, нанесенной на индий-оловянный оксид ИТО. Толщина пленки составляет 100 нм

Нанотехнологии на основе "эффекта лотоса" в автомобильной промышленности

В.И. Балабанов

В.И. Балабанов - доктор наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов ФГОУ ВПО МГАУ им. В. П. Горячкина

Как великий художник, природа умеет и с небольшими средствами достигать великих эффектов.
(Генрих Гейне (Heinrich Heine), немецкий поэт, публицист, критик)

В середине 70-х годов прошлого века немецкими учеными-ботаниками Боннского университета Вильгельмом Бартхлоттом (Wilhelm Barthlott) и Кристофом Найнуйсом (Christoph Neinhuis) было открыто явление самоочистки листьев и цветков некоторых растений, а также тот факт, что этот феномен объясняется особым наноструктурированным состоянием их поверхности. Впоследствии это явление ими было запатентовано и названо в честь наиболее яркого представителя таких растений – Lotus-effect® (эффект лотоса).

Издревле цветок лотоса (лат. *Nelumbo pucifera*) считается в буддизме символом незапятнанной чистоты, так как известно, что листья и нежно-розовые или синеватые цветки лотоса (рис. 1) остаются даже в грязной тине водоемов безупречно чистыми.

Явление самоочистки детально исследовалось учеными и позволило открыть удивительные возможности природы защищаться не только от грязи, но также и от различных микроорганизмов. Данный эффект наблюдается не только у лотоса, но и у других растений (листья кактуса, капусты, камыша, водосбора, тюльпана), а также у насекомых (например, крылья стрекоз и бабочек). Они наделены природой свойством защиты от различных загрязнений, в большей степени

неорганического (пыль, сажа), а также биологического происхождения (споры грибков, микробов, водоросли и т.д.).

С помощью электронных микроскопов исследователями было обнаружено, что листья и цветки некоторых растений выделяют воскоподобное вещество кутин, представляющее собой смесь высших жирных кислот и их эфиров, которые образуют на поверхности особую структуру (нанорельеф) в виде «шипов» (рис. 2).

Взаимодействия между твердыми телами и окружающей средой происходят почти исключительно в поверхностных слоях, что справедливо также и для многих биологических систем. Биологические поверхности, созданные за миллионы лет в результате эволюции, являются максимально оптимизированными мультифункциональными системами. Они обеспечивают механическую стабильность, терморегулирование, контроль водно-солевого обмена и т. д. Постоянное загрязнение листьев растений нарушает в них многие биологические процессы, поэтому растения выработали специфический механизм защиты в виде «эффекта лотоса».

Лотос-эффект не является каким-то случайным феноменом, он возник в результате эволюции и вызван необходимостью выживания растений. Он предотвращает появление патогенных субстанций на таких поверхностях: споры легко смываются при каждом дожде, а при отсутствии дождя нет и влаги как условия для жизнедеятельности, размножения и паразитирования спор. На «оптимизированных» поверхностях (например, листке или цветке лотоса) проявляются супергидрофобные качества, такие, что, например, мед и даже клей на водной основе не прилипают, а полностью стекают с такой поверхности.

Степень увлажнения твердого тела описывается с помощью контактного угла α , входящего в формулу с поверхностной энергией σ на различных межфазных границах в соответствии с законом Кассье:

$\cos \alpha = (\sigma_{т-г} - \sigma_{т-ж}) / \sigma_{ж-г}$, где $\sigma_{т-г}$ – «твердое тело – газ»; $\sigma_{т-ж}$ – «твердое тело – жидкость»; $\sigma_{ж-г}$ – «жидкость – газ».

Нулевой контактный угол обеспечивает полное увлажнение (супергидрофильная поверхность), при котором капля воды стремится «растянуться» до состояния мономолекулярной пленки на поверхности твердого тела. Контактный угол 180° указывает на совершенную несмачиваемость (супергидрофобную поверхность), так как капля касается поверхности только в одной точке (рис. 3).

Попавшая на поверхность листа капля воды удаляет с него частицу загрязнений. При этом частицы загрязнений не проникают во внутреннюю часть капли, а равномерно распределяются по ее поверхности, т. е. даже гидрофобная субстанция удаляется каплей воды с гидрофобной поверхности. При рассмотрении условий, при которых реализуется «эффект лотоса» на наноуровне, механизм этого явления становится более понятным. С помощью закона Кассье можно объяснить, почему значение контактного угла для поверхности, а, следовательно, условие несмачиваемости (самоочистки) можно легко изменить, придав поверхности необходимый, в данном случае, наноразмерный рельеф.

Представим массажную щетку, на зубьях которой лежит клочок бумаги, изображающий частицу загрязнений. Пятно «грязи» расположено только на самых вершинах зубьев, не соприкасаясь с самой поверхностью щетки (см. рис. 4 справа). Сила адгезии (прилипания) «грязи» обусловлена площадью поверхности взаимного контакта. Если бы поверхность была гладкой или имела макрорельеф, как на рис. 4 (слева), то площадь контакта оказалась бы значительной и грязь удерживалась бы достаточно прочно. Однако из-за острых концов зубьев площадь контакта минимальна, и «грязь» как бы «висит на ножке». То же происходит и с каплей воды. Она не может «растечься» по остриям и поэтому стремится свернуться в шарик (см. рис. 4. слева).

Аналогичное явление происходит с различными видами загрязнений и на восковых ворсинках, покрывающих листья лотоса. Поверхность соприкосновения загрязнений с поверхностью листа также крайне незначительна и силы сцепления между каплей воды и частицей грязи оказываются значительно более высокими, чем между этой же частицей и восковым слоем листа. У загрязнения поэтому имеются две возможности: либо продолжать неустойчиво балансировать на шипах, либо «слиться» с гладкой ровной поверхностью движущейся водной капли и легко удалиться даже небольшим количеством воды, оставляя за собой чистую сухую поверхность.

Защитные водоотталкивающие свойства оперения водоплавающих птиц в основном обусловлены их особой ребристой структурой, а не наличием на перьях защитных жироподобных веществ, тогда как в случае с поверхностью листа лотоса, эти свойства только дополняют друг друга. Известные многим своими возможностями легкого перемещения (скольжения) по поверхности воды, водяные клопы-водомерки (лат. Gerridae) также используют это природное явление, так как их тело и кончики ног покрыты не смачиваемыми в воде волосками, обеспечивающими, на первый взгляд, их столь удивительные способности.

Таким образом, лотос-эффект основан исключительно на известных физико-химических явлениях и не привязан только к живым системам; в силу этого самоочищающиеся поверхности технически можно воспроизвести для различных материалов и покрытий.

Именно поэтому в последнее время проводятся интенсивные исследования по разработке и производству самоочищающихся или устойчивых к загрязнению изделий и покрытий в самых различных отраслях экономики. При этом формирование заданной наноструктуры поверхности может быть выполнено с помощью нескольких основных методик:

- создание («черчение») рельефа лазерным лучом или плазменным травлением;
- анодное окисление (алюминия) с последующим покрытием специальными веществами;
- придание формы и создание микрорельефа гравировкой;
- покрытие поверхности слоем металлических кластеров, комплексами «поверхностно-активное вещество – полимер» или сополимеров, самоорганизующихся в наноструктуры;
- нанесение суспензий наночастиц с морфологией, препятствующей образованию агломератов.

Все они в той или иной мере могут быть отнесены к наноинженерии поверхности (лат. ingenium – врожденная способность, дарование, ум, изобретательность) – научно-практической деятельности человека по конструированию, изготовлению и применению наноразмерных объектов или структур (поверхностей) с заданными (прочностными, триботехническими, самоочищающимися и т.д.) свойствами либо аналогичных объектов или структур, созданных методами нанотехнологий.

Одна из основных проблем, которую еще предстоит решить, заключается в том, чтобы после формирования поверхности или нанесенные на них частицы, обладающие определенным распределением по размеру и структурой, оказались стабильными по отношению к старению и различным факторам воздействия окружающей среды. Например, ультрафиолетовое излучение может инициировать окисление покрытия, что приводит к гидрофиллизации поверхности за счет образования кислородсодержащих групп.

Ученым удалось показать, что нанесение суспензий гидрофильных частиц оксида кремния размером несколько нанометров на твердые керамические поверхности может привести к самоорганизации наночастиц. Полученные в результате модифицирования поверхности обладают пониженным для гидрофильных жидкостей краевым углом смачивания, что улучшает сток жидкостей и увеличивает скорость высыхания после очистки.

Основываясь на этих и других принципах, в 1999 г. немецкая компания «Nanogate Technologies GmbH» из Саарбрюккена победила в конкурсе на разработку самоочищающегося покрытия для керамики «WunderGlass», объявленном концерном «Duravit AG». На выставке CEVISAMA-2000 в Испании был показан еще один продукт – покрытие для плитки «Sekcid», разработанное фирмой в

результате стратегического партнерства с испанским концерном «Torrecid S.A.» – одним из мировых лидеров в сфере производства фритты (керамических сплавов) и глазурей для керамической промышленности.

Наиболее широкое распространение технологии на основе «эффекта лотоса» получили в автомобильной промышленности при нанесении лакокрасочных покрытий; специальной обработки остекления автомобиля; защитной водоотталкивающей и антибактериальной пропитке внутренней обивки и тентов; модифицировании резинотехнических изделий и т. п.

Внешний вид, качество и долговечность покрытия автомобиля, несомненно, является отражением технического состояния всего транспортного средства. Благодаря широкому диапазону свойств и эффектов достигаемых при помощи нанотехнологий, в том числе «эффекта лотоса», в настоящее время имеется возможность для обновления и защиты внешнего вида автомобилей при относительно низких затратах, что снижает расходы при эксплуатации и повышает рыночную стоимость при перепродаже.

Немецкая фирма «Дуалес Систем Дойчланд АГ» одной из первых представила на проходившей в Ганновере всемирной выставке «ЭКСПО-2000» новую краску для автомобилей, обладающую самоочищающимся эффектом, для их мойки (даже после сильного загрязнения) их просто достаточно полить водой.

Более того, в настоящее время имеются разработки на основе нанотехнологий, позволяющие вообще обходиться без воды. На загрязненные поверхности автомобиля из баллона распыляется специальный состав, которой затем растирается салфеткой или полотенцем. В результате не только удаляются загрязнения, но и осуществляется нанесение защитного самоочищающегося покрытия, остающегося на поверхности более полугода.

Начиная с 2003 года легковые автомобили Mercedes-Benz серий E, S, CL, SL и SLK покрыты прозрачным лаком с наноразмерными (около 20 нм) керамическими частицами, созданными на основе нанотехнологии, которые в процессе высушивания в лакокрасочном цехе отвердевают, образуя на поверхности лакового покрытия чрезвычайно плотную сетчатую структуру. Благодаря этому также повышается прочность (износостойкость) лака и обеспечивается более интенсивный и долговечный блеск покрытия. Автомобили Mercedes-Benz с лакокрасочным покрытием на основе нанотехнологии отмечены наградой на специализированной выставке «Automechanika», как «самые легкомоющиеся автомобили 2004 года».

В настоящее время в области разработки и применения нанотехнологической продукции для автомобильной промышленности основная конкуренция развернулась между компаниями PPG, Dupont и Nanovere, а также BASF. Так, еще в 2002 году американская компания PPG Industries Inc. представила на автомобильном рынке первое керамическое самоочищающееся покрытие – CeramiClear® Clearcoat. Для самоочищающейся поверхности фирма использует диоксид титана (TiO₂). Его свойства таковы, что покрытие из данного вещества не только окисляет и расщепляет грязь, но вдобавок нейтрализует различные запахи и убивает микроорганизмы. На практике это приводит к тому, что износостойчивость лакового покрытия возрастает – оказалось, что покрытые лаком нового типа машины сохраняют блеск на 40 % дольше, чем окрашенные обычной краской. Такому заключению предшествовали четыре года экспериментов и 150 окрашенных новой краской «тестовых» автомобилей.

Другим направлением использования нанотехнологий в автомобильном машиностроении является исключение экологически вредных красок, содержащих различные растворители, которые выбрасываются в атмосферу во время процесса сушки. Эти проблемы решаются за счет использования порошковых покрытий вместо традиционных жидких покрытий на водной основе, которые становятся все более распространенными, поскольку они не содержат летучих органических соединений. Как уверяют в компании DuPont еще в начале 1990-х годов они разработали принципиально новый экологически чистый порошковый материал на водной основе

для покраски автомобиля. По словам разработчика, высыхание слоя такой краски при воздействии на него УФ-излучения не превышает десяти секунд.

В настоящее время компания PPG работает над самовосстанавливающимся лакокрасочным нанопокрытием, позволяющим осуществлять «саморемонт» царапин и мелких потертостей, возникающих при повседневной эксплуатации автомобиля.

Американская компания Nanoverge старается не отставать от своих конкурентов и также разработала одновременно устойчивую к царапинам и самоочищающуюся краску под названием Zuvete 2K Nanocoating, которая уже была испытана на переднем бампере автомобиля Cadillac CTS-V, разгонявшегося на некоторых участках трека до 320 км/час, где показала очень хорошие результаты. Новое нанопокрытие из наночастиц диоксида кремния (SiO_2) для кузовов автомобиля (может также применяться для окраски колесных дисков, самолетов или кораблей), как уверяют разработчики, на 53 % более стойкое к появлению царапин, и за счет самоочистки («эффекта лотоса») на 60 % – к образованию на нем различного рода загрязнений (грязь, пыль, масло, вода, лед).

Сохранить лакокрасочное покрытие кузова позволяют полироли и различные средства защиты. Особое место среди них занимают современные разработки в области нанотехнологий, например, нанополироли для лакокрасочного покрытия и остекления автомобиля, в том числе реализующие «эффект лотоса». Автомобильная нанополироль, реализующая эффект лотоса – в большинстве случаев двухкомпонентный препарат, состоящий из подготовительной жидкости (растворителя) и собственно полироли, представляющий собой смесь частиц наноматериала (алмаз, оксиды титана, кремния, вольфрама и т. д.) в специальной среде из растворителей и наполнителей. Она предназначена для оптической маскировки локальных потертостей и царапин, восстановления первоначального цвета и свойств лакокрасочного покрытия или остекления автомобиля, а также придания им самоочищающихся свойств.

Например, защитная полироль «Pika gain», разработанная в 2008 году японскими учеными и представляемая на рынке компанией «Coral co., ltd», защищает автомобиль от царапин во время мойки, восстанавливает и сохраняет яркость и насыщенность цвета кузова. На поверхности кузова полироль образует защитную стеклоподобную пленку, которая надежно выдерживает действие различных кислот, грязи и обладает водоотталкивающими свойствами («эффектом лотоса»).

Гидрофобное покрытие для остекления автомобиля в виде пленок уже используется в автопроме при производстве серийных машин – оно наносилось на боковые стекла Nissan Terrano II. Подобное покрытие, хотя не создавало полноценного водоотталкивающего эффекта, но заметно уменьшало пятно контакта поверхности с каплями воды, благодаря чему во время дождя стекло оставалось достаточно прозрачным.

На рис. 5. представлен механизм «самоочищения» стекла автомобиля, обработанного специальными нанопленками или нанополиролями. Поверхность 1 модифицирована таким образом, что капля воды 2 катится по ней, собирая загрязнения 3, тогда как на гладкой поверхности, наоборот, капля воды, сползая, оставляет грязь на месте.

При применении таких покрытий дождь, снег и грязь не удерживаются на поверхности стекла, а уносятся встречным потоком воздуха, а попавшие на стекло битум, растительные смолы, масляная пленка, прилипшие насекомые и т. д. легко удаляются дворниками – даже в самых тяжелых случаях. Вода, снег и грязь, которые летят из-под колес встречного транспорта, попадая на боковые стекла, меньше сокращают боковой обзор. Ночная видимость становится существенно лучше, а встречный транспорт ослепляет гораздо меньше. В результате водоотталкивающего эффекта и более прозрачного стекла повышается активная безопасность на дороге. Одновременно снижаются расходы на новые стеклоочистители, т. к. в среднем они используются на 50 % реже.

В заключение следует отметить, что в настоящее время на основе «эффекта лотоса» разработан ряд специальных материалов и изделий, обладающих самоочищающимися и другими

уникальными свойствами, например, гидрофобные фасадные краски, антивандальные покрытия поездов, незапотевающие зеркала и керамика, малозагрязняющийся бактерицидный текстиль, непромокающие дождевые плащи и зонтики, водоотталкивающие спортивные купальные костюмы, а также многое другое. Все это свидетельствует о хороших перспективах применения нанотехнологий во многих сферах деятельности человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Der Lotus-effect. (Эффект лотоса).
2. Aryeh Ben-Na'im Hydrophobic Interaction Plenum Press, New York (ISBN 0-306-40222-X).
3. Cassie A.B.D., S. Baxter, Trans. Faraday Soc., 1944, 40, 546.
4. UV-Driven Reversible Switching of a Roselike Vanadium Oxide Film between Superhydrophobicity and Superhydrophilicity Ho Sun Lim, Donghoon Kwak, Dong Yun Lee, Seung Goo Lee, and Kilwon Cho J. Am. Chem. Soc.; 2007; 129(14) pp 4128 - 4129; (Communication) DOI:10.1021/ja0692579.
5. Балабанов, В.И. Нанотехнологии. Наука будущего. М., Эксмо, 2009. – 248 с. (ISBN 978-5-699-30976-4).



Рис. 1. Цветок лотоса и капля воды на поверхности листа

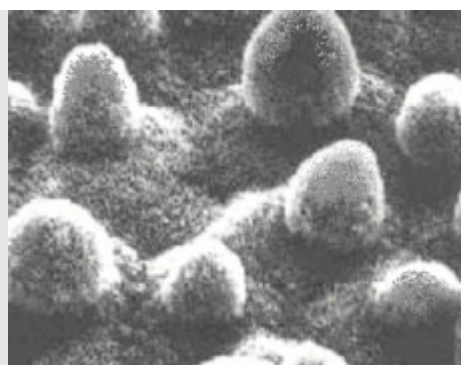


Рис. 2. Поверхность листа лотоса под электронным микроскопом



Рис. 3. Капля жидкости на супергидрофобной поверхности (капля касается листа только в нескольких точках, стягивается за счет поверхностного натяжения к шару и при самых незначительных углах наклона свободно скатывается)

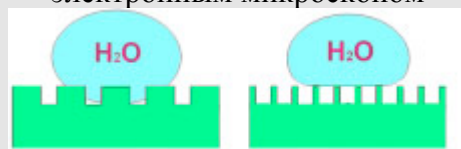


Рис. 4. Положение капли воды на гладкой (слева) и шероховатой (справа) поверхностях

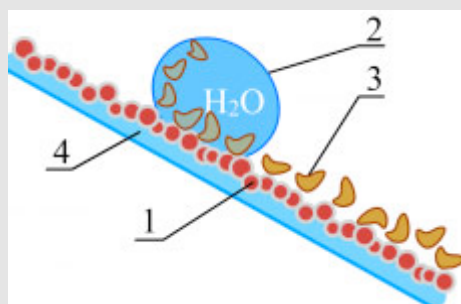


Рис. 5. Схема реализации лотос-эффекта: 1 – нанопокрывтие; 2 – капля жидкости (воды); 3 – загрязнение; 4 – поверхность (стекло, краска, керамика и т.д.)

Существует ли в почвах наноструктурная организация?

Г.В.Добровольский, Г.Н.Федотов

Г.В. Добровольский - академик РАН, доктор биологических наук, заслуженный профессор МГУ, лауреат Государственных премий СССР и России; Г.Н. Федотов - доктор биологических наук, кандидат химических наук.

Существует великое множество природных почвенных образований различных типов, которые морфологически отличаются друг от друга. Однако есть ряд общих признаков, которые позволяют нам называть их почвами: они располагаются на поверхности Земли, представляют собой компоненты соответствующих экосистем, накапливают органическое вещество в виде гумуса и, главное, они плодородны.

Рассмотрим более подробные характеристики почв как составных частей различных экосистем. Для экосистем характерно так называемое неосознанное целеполагание. Наиболее четко это положение сформулировал американский ученый Кеннет Уатт (Kenneth E.F. Watt): "Сообщество животных и растений в любом месте земного шара представляет собой совокупность видов, которая обеспечивает максимальное использование попадающей на Землю солнечной радиации". Почвы представляют собой среду, которую населяющие ее организмы приспособляют для своего существования. Таким образом осуществляется оптимальное выполнение основной функции экосистемы. В итоге почвы должны эволюционировать в направлении повышения их устойчивости, достигая практически совершенных параметров для существования биоты.

Наиболее важную роль в обеспечении почвенного плодородия играет коллоидная составляющая почв. Именно она обеспечивает высокую влагоудерживающую способность почв, накопление в почвах питательных веществ, обуславливает существование почвенной макроструктуры и, как следствие, почвенного плодородия.

До недавнего времени представления о структурной организации почвенных коллоидов носили общий характер. Считалось, что коллоидные частицы существуют в почвах в виде двух коллоидных систем: плотных гелей на поверхности относительно крупных почвенных частиц, а также в виде органических и неорганических коллоидных частиц в почвенном растворе. Как следствие, почву часто рассматривали не как систему, обусловленную функциональным взаимодействием входящих в нее частей, а как набор частиц, различных, в том числе и коллоидных, размеров, т.е. очень часто в этой сфере применялся достаточно упрощенный подход.

Почвенные коллоиды на полуколичественном уровне активно изучали до середины прошлого века. Появление в тот период методов рентгенофазового анализа и электронной микроскопии переориентировало интересы исследователей и позволило получать новые интересные и важные для почвоведения результаты. Недостаточность внимания, которое уделяли изучению почвенных коллоидов, имела объективные причины. Химические методы анализа определения содержания ионов или молекул в почве были хорошо разработаны и достаточно просты. Рентгенофазовый анализ и микроскопия позволяли изучать вещества в микросостоянии. А вот методы исследования почвенных компонентов в коллоидном состоянии были в тот период разработаны недостаточно.

Наноструктурная организация почв

В материаловедении в последнее десятилетие большое внимание уделяется изучению наноструктурной организации материалов и взаимодействию между собой различных уровней их организации. К 2000 г. группа экспертов Национального научного фонда США сделала заключение о безусловном приоритете исследований в области нанотехнологий и наноматериалов, а в 2000 г. в США была начата долгосрочная комплексная программа, названная "Национальная нанотехнологическая инициатива".

Следует отметить, что изучение наноматериалов и развитие нанотехнологий было подготовлено рядом открытий, сделанных в последнее время: созданием сканирующего туннельного (1981 г.) и атомно-силового микроскопа (1986 г.), экспериментальным обнаружением фуллеренов (1985 г.), изучением размерных эффектов, гетероструктур, процессов самоорганизации, фрактальных образований и ряда других эффектов и явлений.

В мире существуют сотни почв различных типов, которые морфологически отличаются друг от друга

Развитие нанотехнологий и накопление в почвоведении новых данных заставили нас обратить внимание и на наноструктурную организацию почв. Необходимо было проверить наличие подобной организации в почвах и понять ее принципы.

Используя методы, применяемые в нанотехнологиях - просвечивающую и растровую электронные микроскопии, атомно-силовую микроскопию, рентгенолокальный анализ и ряд других, - удалось выяснить, что молекулы органического вещества почв взаимодействуют между собой, образуя матрицу гумусового студня, которая включает в свой состав минеральные частицы различных размеров. Коллоидная составляющая почв фактически представляет собой гумусовый студень, армированный минеральными частицами.

Несмотря на морфологические различия исследованных почв, во всех них наблюдается общий принцип наноструктурной организации. Для изучения ее единообразия ученые обратились к методу малоуглового рассеяния нейтронов. Этот метод обладает определенными преимуществами, т. к. не требует никакой пробоподготовки и позволяет видеть статистическую картину (размер пучка нейтронов составляет 14 мм).

Для лучшего понимания целесообразности использования метода малоуглового рассеяния нейтронов следует обратить внимание на суть его применения для исследования почв. Происходит взаимодействие пучка нейтронов с почвой. Частицы коллоидных размеров рассеивают нейтроны под малыми углами. Причем если они образуют фракталы и, взаимодействуя с излучением, ведут себя как независимые излучатели, т. е. находятся на расстоянии друг от друга, то показатель "порода" для этих объектов меньше трех, и они являются массовыми фракталами. Чем больше среднее расстояние между коллоидными частицами, тем меньше показатель "порода", который для массовых фракталов совпадает с фрактальной размерностью изучаемого объекта. Если показатель "порода" больше трех, то это означает, что коллоидные частицы находятся в контакте и не могут вести себя как независимые излучатели.

Основанием для предположения о фрактальной организации почвенных коллоидов стало то, что электронно-микроскопические фотографии наноструктур, выделенных из чернозема, напоминали снимки фрактальных кластеров. Первые же эксперименты подтвердили, что коллоидная структура почв обладает фрактальной организацией.

Таким образом, использование данного метода позволяло подтвердить (или опровергнуть) мысль о расположении коллоидных частиц в почвах, точнее, в матрице гумусового студня, на определенном расстоянии друг от друга.

Проведенные на образцах из нескольких десятков почв и почвенных горизонтов исследования свидетельствовали, что во всех случаях наблюдается рассеяние нейтронов, характерное для объектов, имеющих фрактальное строение. Причем для всех влажных и большинства воздушно-сухих почв фрактальная размерность меньше трех, т. е. коллоидные частицы находятся на расстоянии друг от друга.

Полученные результаты подтвердили единство наноструктурной организации всех исследованных почв и говорят о том, что, во-первых, коллоидные частицы во влажных и многих воздушно-сухих почвах находятся на расстоянии друг от друга, что можно объяснить только их стабилизацией в гумусовой молекулярной сетке, во-вторых, коллоидные частицы расположены в гумусовом студне

упорядоченно, и подобные гелевые структуры распространены во всех изученных нами почвах и почвенных горизонтах.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что коллоидную структуру почв можно рассматривать как студень гумуса, армированный коллоидными частицами, который упрочнен за счет взаимодействия между органическими молекулами. При взаимодействии с водой армированный гумусовый студень ведет себя подобно многим полимерам - набухает, вбирая в себя воду и увеличиваясь в объеме. При высушивании происходит его усадка. Различные воздействия на почву изменяют состояние армированного полимерного гумусового студня, что приводит к наблюдаемому нами изменению свойств почв.

Практическое значение

Кроме того, что проведенные исследования расширяют наши представления о наноструктурной организации почв, они обладают также и практической значимостью. Проблема продовольствия во всем мире становится сейчас одной из приоритетных. Ее решение упирается в то, что ресурсы земель, которые можно использовать для сельскохозяйственного производства, ограничены. Огромное значение имеет также потеря почвами, в основном из-за их деградации, плодородия. Когда ухудшается почвенная структура, в первую очередь уменьшается содержание агрономически ценных агрегатов размером 2-5 мм. Как следствие, почвы уплотняются, нарушается водно-воздушный режим корневых систем растений. В результате после увлажнения в бесструктурных почвах сначала наблюдается период дефицита воздуха, затем период дефицита влаги.

Таким образом, структура почвы стала важнейшим фактором почвенного плодородия. И все остальные факторы, такие как, например, обеспеченность растений элементами питания, могут проявлять себя только на хорошо структурированных почвах. Внесение удобрений на почвах, лишенных структуры, недостаточно эффективно и не ведет к росту урожайности. Предпринимаются попытки отказаться от почвенной обработки, приводящей к ухудшению структуры почвы и минерализации гумуса, разрабатываются способы беспашотного выращивания однолетних культур и перехода на многолетние культуры. Однако эти технологии либо слишком дороги, либо находятся на ранних стадиях разработки. Поэтому одно из основных агротехнических мероприятий, направленных на повышение производительности сельского хозяйства, - это систематическое улучшение структурного состояния почв.

Почвенные гели определяют существование почвенной структуры - агрегацию почвенных частиц. Поэтому разработка способов получения искусственных гелей из дешевых природных материалов, медленно разлагаемых почвенной биотой, может оказаться весьма эффективным приемом улучшения свойств почв. Знание наноструктурной организации почвенных гелей позволяет целенаправленно разрабатывать способы их получения, используя подходы супрамолекулярной химии.

Ионное "наноскульптурирование"

Small, Volume 5, Issue 23, pages 2687–2691, авторы: Джирки Райзанен, Владимир Тубольцев, перевод: В.Н.Чепиков (студ. ФНМ МГУ)

Массовое производство деталей размерами около 10 нм и менее затруднено отсутствием доступных и подходящих инструментов, способных осуществить хорошо контролируемую доставку вещества на этом уровне миниатюризации. Низкоэнергетические ионные пучки обеспечивают высокую степень контроля, когда применяются к уже полученным наноструктурам для последовательного уменьшения и оформления. Уникальная техника обработки, показанная

для высокоэнергетических ионов в создании трехмерных нанообъектов, позволяет создавать протяженные нанонити макроскопической длины с эффективным диаметром 10 нм практически из любого материала.

Ожидается, что дальнейшее развитие поверхностного наноструктурирования будет остро востребовано в промышленности, которая сейчас столкнулась с серьезными трудностями в сохранении тенденции к миниатюризации, особенно в микроэлектронике. Доступность эффективных инструментов для надежного массового производства сложных наноразмерных структур - необходимая предпосылка для промышленного использования достижений наноауки. Будущие успехи в развитии технологий, работающих с 10 нм и более мелкими объектами, во многом зависят от того, насколько мы научимся контролировать процессы наноструктурирования.

В случае таких размеров характеристики морфологических неоднородностей материала, образующего наноструктуру становятся сопоставимыми с ее размерами. Любые отклонения структуры от идеала, незаметные в случае макрообъектов, становятся критическими при работе с 10 нм объектами. В наноструктурах, выполняющих некоторые функции, то есть наноустройствах, нанонить – необходимая деталь, образующая элементарную связь, обеспечивающую перенос заряда. Десятинанометровый размер доменов представляет огромный интерес как для фундаментальных исследований в области низкоразмерных нанообъектов, так и для новых применений в микроэлектронике, где наноструктурированность придает новые функциональные возможности. Новые интересные явления, ожидаемые при приближении масштабов к тем, на которых начинают играть роль квантовые явления, открывают новые пути к квантовой связи и квантовым вычислениям. Было теоретически предсказано, что сверхпроводящая петля со встроенной нанонитью десятинанометрового диаметра может быть использован для реализации “в железе” кубита.

Существует срочная необходимость в обеспечении надежного производства электродов размерами 10 нм и меньше для быстро развивающейся молекулярной электроники, где идет манипулирование объектами близких размеров. Достаточно очевидно, что около 10 нм и находится тот рубеж, на котором свойства материалов резко меняются, становясь отличными от проявляемых в объемных образцах. Размерная зависимость квантовых флуктуаций в квазиодномерных нанонитях, как было замечено, приводила к подавлению сверхпроводимости и снижению электропроводности. В технологическом аспекте, это предполагает серьезные ограничения, с которыми сверхпроводящая электроника может вскоре столкнуться, когда при постоянном сокращении размеров компонентов достигнет некоторого предела. Усовершенствованное накопление спина может дать начало новому магнетотранспорту в системах, основанных на магнитных наноструктурах размерами менее 10 нм.

Считается, что это позволит осуществить эффективное размерозависимое накопление и изменение спина, обеспечивающее разнообразие спин-электронных устройств от модулей памяти со сверхвысокой плотностью записи и заканчивая биосенсорами. Новый класс наноустройств, действие которого основано на манипуляциях с одним-единственным электроном, т. е. одноэлектронные устройства, требуют компонентов размером менее 100 нм для работы при сверхнизких температурах менее 10 нм для применения при комнатной температуре. Для работы в 10 нм режиме точного масштабирования и возможности постепенно адаптировать полученные структуры размер имеет первостепенное значение. Каждый ученый, имеющий опыт построения нанообъектов, знает, что каждое наноустройство в некоторой степени уникально в своей работе и свойствах, например, в исходных параметрах для оптимального функционирования. Два образца одного и того же устройства, полученные одним и тем же способом в одних и тех же условиях, очень редко имеют одинаковую функциональность.

В 10 нм масштабе даже мельчайшие изменения в структуре могут повлечь за собой значительные изменения в свойствах и работе устройства. Таким образом, измерение и анализ могут выполняться только для каждого конкретного экземпляра устройства после его создания. Сравнение двух отдельно произведенных устройств различного размера очень часто неоднозначно, так как любое различие может вызываться не только размерным эффектом, но

также может быть связано с неконтролируемым введением случайных артефактов на этапе изготовления.

Таким образом, возможность манипулирования материей на наноуровне, позволяющая последовательно сокращать размер наноструктуры, после ее производства остается очень желательной. Это позволит не только изучить размерные эффекты без артефактов, но и обеспечит возможность правильного подбора зависящих от размера свойств, например, чувствительности и селективности в наносенсорах.

Несмотря на огромный прогресс в области нанотехнологий, на практике для массового изготовления в суб-50 нм масштабе наноустройств сложной архитектуры с электрическими контактами до сих пор вынуждено полагаться на на послепроизводственное наномасштабирование. Из многих тем для обсуждения единственными подходящими технологиями являются сухое травление, обычно представленное реактивным ионным травлением (RIE) и плазменным травлением (PE). В обоих случаях рабочий процесс очень схож и показан схематично на рисунке 1а.

Подложка с уже созданными структурами помещается в плазму. Ионизированные до состояния плазмы и ускоренные приложенным напряжением частицы бомбардируют поверхности. При ионной бомбардировке атомы поверхности удаляются путем распыления, также поверхность изменяется физически (в PE) или химически (в RIE). Коммерчески доступное оборудование для технологий PE и RIE очень хорошо работает для плоской геометрии, однако, как известно, страдает отсутствием точного контроля над структурами обрабатываемых объектов суб-100 нм размеров. Сложные структуры с деталями менее 100 нм сложны в обработке, например, в уменьшении, когда требуется соблюдать точность и воспроизводимость. Основная причина этого – довольно плохо контролируемое взаимодействие окружающей плазмы с объемными объектами сложной формы, в частности, когда они имеют размеры нанометрового уровня. Ионы плазмы, попадающие на поверхности в различных точках, различаются по энергии, частоте, и локальной плотности тока из-за практически неконтролируемого распределения местных ускоряющих потенциалов около 3D-нанобъектов.

Более того, распределение локальных потенциалов изменяется с изменением размеров и формы бомбардируемой поверхности. Это ведет к неконтролируемому изменению общих условий травления, которые определяют местные скорости травления. С целью осуществления более основательного контроля, логичным шагом было бы отделить происхождение ионов из рабочего процесса травления. В отличие от плазменных методик, в ионно-лучевом травлении (IBE) ионы образуются в отдельном ионном источнике, затем ускоряются до четко определенной энергии, формируются в пучок с четко определенным направлением, и доставляются к цели для самого процесса (рис. 1b). Использование ионных пучков вместо плазмы, предположительно, должно позволить отделить ионное травление и обработку от образования и ускорения ионов. Оказывается, это приводит к повышению управляемости наноструктурирования и обеспечивает нанометровую точность управления в последовательном сокращении, как продемонстрировано здесь на примере нанонитей из золота. Эффективное поперечное сечение менее 10 нм было достигнуто воспроизводимым и управляемым способом. Пример золотой нанонити, полученной обычной электронно-лучевой литографией (ЭЛЛ) и уменьшенной методом ионно-лучевого травления, показан на рисунке 2.

Для сравнения, рисунок 3 показывает примеры похожих нанонитей, но полученных обычным плазменным травлением сфокусированным ионным пучком (FIB). Плазменное травление и ионно-лучевое травление проводились с использованием аргонового пучка ионов и плазмы, соответственно, в то время как травление сфокусированным ионным пучком (FIB) выполнялось с использованием коммерчески доступных FIB-устройств, позволяющих получить сфокусированный пучок Ga^+ ионов. Технические детали представлены в экспериментальной части. На рисунке 2 можно заметить, что как ширина линии, так и сечение нанонити, подвергшейся травлению ионным пучком, сильно снизились после бомбардировки ионами Ag^+ . Более того, поверхность нанонити становится намного более однородной, чем была до обработки.

Дефекты в строении нанонити, связывавшиеся с процессом получения, были удалены ионной бомбардировкой. Эволюция сечения нитей s и эффективного диаметра d показана на рисунке 4а. На рисунке 4b приведены стандартные отклонения значений соответствующих величин.

Площадь сечения, как замечено, уменьшается с ростом количества бомбардирующих ионов с примерно 2760 нм^2 до столь малой величины, как 87 нм^2 , т. е. более чем в 32 раза! Начиная с примерно 52 нм, эффективный диаметр уменьшился примерно до 9 нм без разрушения нанонити. Стандартное отклонение этих величин, обратное гладкости поверхности нити также снизилось увеличением дозы ионного облучения. Существенные изменения морфологии поверхности нити были заметны еще в самом начале процесса ионного травления, характеризовавшемся очень низкими дозами ионного облучения. Стандартные отклонения всех величин на рисунке 4 значительно снижаются, предполагая явное улучшение поверхностной однородности по сравнению с необработанным состоянием. Это не может быть приписано одной только полировке поверхности ионами, которая бы привела к монотонному накоплению изменений в течение всего процесса.

Такие немонотонные изменения структурной морфологии с облучением раскрывают возможности катионов аргона для процессов, основанных на взаимодействии с трехмерными нанообъектами. Эти возможности особенно ярко раскрываются в начале процесса, характеризующемся очень низкими дозами облучения и максимальной шершавостью нанонити. Рисунок 5 показывает распределение длины нити в одной и той же части золотой нанонити до и после напыления с постоянно увеличивающейся дозой облучения. При сравнении распределений 1 и 2 становится очевидным, что значительное улучшение морфологии нити, связываемое с уменьшением ширины распределения, идет с потреблением более крупных менее длинных компонентов. Глубина проникновения ионов Ar^+ в процессе травления предполагается меньшей 0,5 нм. Поэтому вся энергия, приносимая случайными частицами, передается атомам верхних слоев обрабатываемого объекта. Это должно повысить мобильность поверхностных атомов, способствуя такому их перемещению, которое приводит к заращиванию дефектов поверхности. Таким образом, стимулируемая миграция поверхностных атомов благоприятствует заполнению узких мест нанопроволоки, с одной стороны, и сглаживанию торчащих из поверхности частей, с другой стороны. Все вместе это приводит к улучшению морфологии в процессе травления. Такая параллельность между задачей формы и травлением является очень важным условием достижения меньшего размера без нарушения целостности.

В противовес, похожие нанонити золота, полученные плазменным травлением или травлением сфокусированным пучком ионов, имеют другую структуру. Как и ожидалось, травление аргоновой плазмой обеспечивает довольно неоднородное разрушение поверхности, только увеличивая шершавость с течением времени. Рисунок 3 а и б показывают типичный продукт обработки аргоновой плазмой исходных нанонитей суб-50 нм диаметра. Изображенная нанонить уже была обработана без желаемого уменьшения толщины, хотя специальным образом поддерживалась равномерность травления (см. экспериментальную часть). При травлении сфокусированным ионным пучком такой же нанонити ее морфология изменилась еще значительно (см. Рис 3 с и d). Конденсировавшиеся из пучка атомы галлия были обнаружены на поверхностях в форме капелек размерами 10-100 нм. (Рис 3d).

В наноконденсате галлий оказался очень реакционноспособным и подвижным из-за улучшения поверхностной диффузии под действием ионного облучения. Обнаружено, что галлий в этих условиях реагирует с золотом, весьма инертным элементом. Стремясь образовать энергетически наиболее выгодный интерфейс с золотом, сконденсировавшийся галлий сильно ухудшает однородность поверхности нанонити, превращая ее в конечном итоге в цепь островков неправильной формы раньше, чем полировка принесет какой-нибудь положительный эффект. В отличие от плазменного травления (PE) и травления сфокусированным ионным пучком (FIB), полная гомогенизация поверхности, обеспечиваемая ионно-лучевым травлением (IBE), проводит уменьшение диаметров нанонитей до 10 нм и меньше без нарушения целостности объекта. Метод

IBE превосходит как PE, так и FIB с использованием катионов Ga⁺ в обработке суб-50 нм структур.

В кратце, несфокусированные пучки ионов Ag⁺ с низкой энергией продемонстрировали свою возможность последовательного уменьшения и оформления наноструктур суб-10 нм масштабов посредством сочетания доставки частиц материала посредством напыления и гомогенизации поверхности за счет радиационной активации поверхностной диффузии. Сохранилась легенда о том, что когда великого Микеланджело спросили, как ему удалось создать статую Давида, он ответил, что просто убрал все лишнее. Обеспечивая придачу формы наравне с напылением, ионный пучок работает над поверхностью наноструктуры, как хороший скульптор. Была показана возможность последовательного уменьшения диаметров нанонитей золота до 10 нм и далее с нанометровой точностью без разрушения. Применение несфокусированных ионных пучков к полноразмерным подложкам с наноструктурами практически из любого материала, обрабатываемым одновременно полностью соответствует современной стратегии развития микро- и нанотехнологий.

По иронии судьбы, оборудование для таких технологий доступно многим научным и промышленным лабораториям уже десятки лет, как ни странно, для очистки подложек и изготовления срезов. Вместе с архитектурными возможностями, которые довольно просты, новым применением этого оборудования может стать альтернативный более дешевый способ осуществления, по крайней мере, многих суб-10 нм операций.

Экспериментальная часть

Нанонити золота были получены с использованием обычной электронно-лучевой литографии (EBL). Подходящая маска была сформирована с помощью EBL из двухслойного изолятора – сополимера полиметил-метакрилата – нанесенного на коммерческую подложку Si (111) с удельным сопротивлением 20Vсм. Золото затем напылялось через маску с использованием испарителя с электронной пушкой. Процессы оформления велись в горячем ацетоне. Все полученные таким образом нанонити были длиной около 50 мкм и эффективным диаметром поперечного сечения d менее 55 нм. Снимки выбранных нанонитей золота, полученные атомно-силовой микроскопией и микроскопией вторичных электронов, приведены на рисунках 1-3. С целью сравнения, три различных технологии сухого травления были применены для сокращения размеров нанопроволоки для достижения суб-10-нм сечений без разрыва целостности нанонитей.

Ионно-лучевое травление: Этот подход осуществлялся с помощью самодельного устройства, состоящего из вакуумированной емкости, откачиваемой турбомолекулярным насосом и оборудованной ионной пушкой Tectra IonEtch, манипулятора для перемещения образца по всем трем направлениям, системы поддержания газового состава и электроники для измерений и контроля. Пример нанонити золота, использованной в процессе ионно-лучевого травления приведен на рис 2а. Для данной конкретной нанонити значение начальной толщины было около 46 нм, а длины – около 60 нм. Исходные нанонити были подвергнуты бомбардировке ионами Ag⁺ энергией 200 эВ при плотности ионного потока от $1,5 \cdot 10^{16}$ до $3,6 \cdot 10^{17}$ 1/см² с плотностью тока от 10 до 30 мА/см².

Данная ионная пушка дает широкий ионный пучок с полушириной около 5 мм на половине своей интенсивности, что было измерено на уровне мишени. Кремниевые подложки с нанонитями были закреплены на манипуляторе, что обеспечило возможность их перемещения внутри ионного пучка и извлечения из пучка для наблюдения. В течение напыления образцы были наклонены под 40° к нормали и вращались со скоростью около двух радиан в минуту. Однородность напыления гарантировалась перемещением ионного пучка по вертикали и по горизонтали с использованием электростатических отклоняющих устройств частотой 50 Гц. Процесс проводился при комнатной температуре и давлении аргона порядка 10^{-5} мбар. Через равные промежутки времени образец подвергался исследованию сразу как посредством АСМ, так и с помощью МОЭ.

Плазменное травление: Использовалась установка Plasmalab 80 Plus Rie (производства Oxford Instruments Plasma Technology). Подбирались различные условия травления для достижения однородного напыления, что должно обеспечить снижение как длины, так и толщины нанонити до суб-50-нм масштабов. Рисунок 3b показывает, как выглядит нанонить после плазменного травления. Данная нанонить была обработана в следующих условиях: поток аргона 50 sccm, давление 55 мТорр, мощность 50 Вт, температура 15°C. Ускоряющее напряжение в этих условиях достигало 180 В.

Сфокусированный ионный пучок: Травление этим методом осуществлялось на двухлучевой установке FEI Helios NanoLab 600, способной выдавать пучок ионов Ga⁺ с энергиями до 30 кэВ. Для уменьшения повреждений при облучении энергия ионов может быть задана на минимальном уровне 500 эВ. При столь низкой энергии минимальная площадь облучаемой части подложки составила 11 нм. Для имитации обработки в условиях, сходных с аргоновым травлением, пучок Ga⁺ был расфокусирован и падал на обрабатываемую область под углом 40° к нормали при вращении образца по азимутальному углу. До и после каждого этапа обработки выбранные части нанонитей исследовались методом сканирующей электронной микроскопии. Съемка велась под углом 52° к нормали к поверхности, ее результаты приведены на рис 3 с и d.

Нанонити также исследовались методом атомно-силовой микроскопии в бесконтактном режиме как до, так и после травления. В обсуждаемом интервале размеров, т. е. менее 50 нм, АСМ обеспечивает надежное измерение толщины нанонити. Тем не менее, измерения толщины не дают окончательного результата из-за ограниченности поверхностного разрешения, вызванной хорошо известной проблемой извилистости краев. Поэтому толщина нанонити определялась на основе изучения электронных микрофотографий. В сравнении различных методов травления использовались эффективный диаметр (среднее геометрическое между длиной и толщиной нанонити) и его погрешность. Было отмечено, что поперечное сечение нанонитей гауссианообразное для тонких образцов и трапециевидное для толстых. Т.к. толщина линии на микрофотографии взята за толщину нанонити, то получаемый вышеуказанным методом средний диаметр – на самом деле верхняя граница средних диаметров.

В силу применения трех различных технологий, некоторые различия в условиях осуществления процесса неизбежны. Особые усилия были приложены к тому, чтобы применять эти технологии в сопоставимых режимах настолько, насколько это возможно. За исключением некоторых различий в конкретных условиях и параметрах, методы сухого травления здесь представлены наравне и сравниваются на основе своей фундаментальной применимости для уменьшения нанообъектов в суб-50-нм режиме.

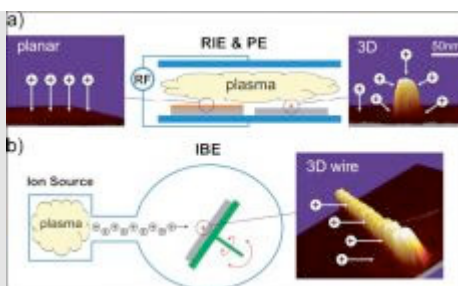


Рисунок 1. Плазменные и ионно-лучевые технологии для наноструктурирования поверхностей.

а) Реактивное ионное травление и плазменное травление. Подложка с поверхностными наноструктурами погружается в плазму. Частицы плазмы травят поверхность физически (в плазменном травлении) или химически (в ионном травлении). Хотя процесс и достаточно хорошо контролируем в плоскостной геометрии, локальные взаимодействия с трехмерными объектами суб-100-нм размеров плохо изучены. б) Ионы при ионно-лучевом травлении образуются в отдельном устройстве – источнике. На мишень направляется сформированный заданным образом ионный пучок. Формирование ионов пространственно отделено от их локальных взаимодействий с объемными наноструктурами, что обеспечивает улучшенный контроль за процессом травления.

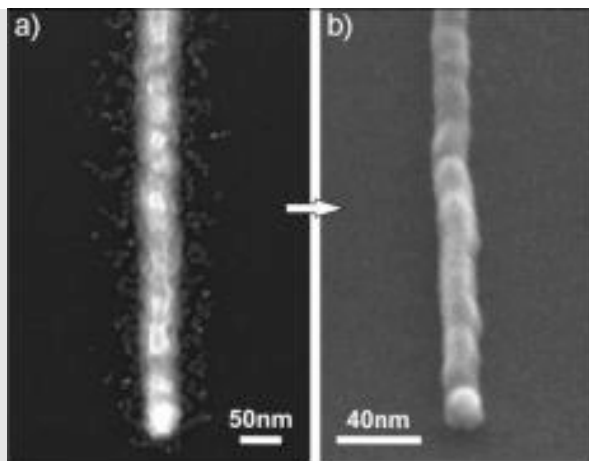


Рисунок 2: Результаты сканирующей электронной микроскопии нанонити золота до и после травления пучком ионов Ar^+ . а) нанонити золота, полученные электронно-лучевой литографией, – сырье для ионно-лучевой обработки. б) Нанонить золота после бомбардировки пучком ионов Ar^+ энергией 200 эВ плотностью потока $3,48 \cdot 10^{17} \text{ 1/см}^2$. При травлении нанонити ионный пучок ведет себя как скульптор: уменьшает поперечное сечение, улучшает структуру, увеличивает гладкость поверхности.

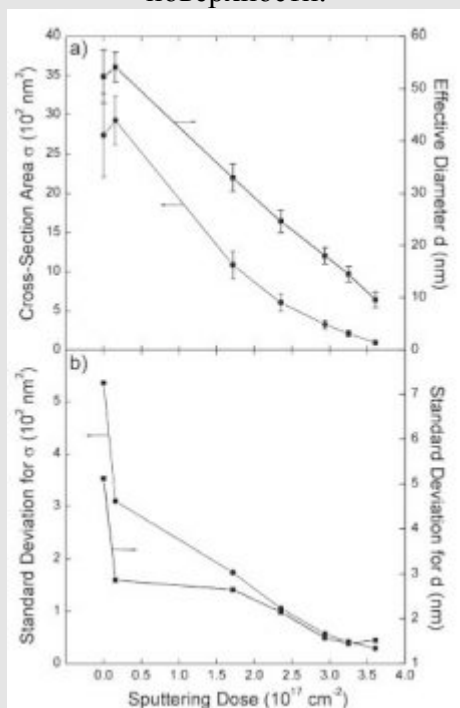


Рисунок 4: Изменения нанонитей, показанных на рис 2, при обработке пучком ионов Ar^+ . а) Зависимость от дозы облучения площади сечения σ и эффективного диаметра d . б) Соответствующие стандартные отклонения, характеризующие неровность поверхности нанонити. Совместное действие напыления и поверхностной гомогенизации при бомбардировке ионами Ar^+ обеспечивает последовательное уменьшение до диаметров менее 10 нм с нанометровой точностью.

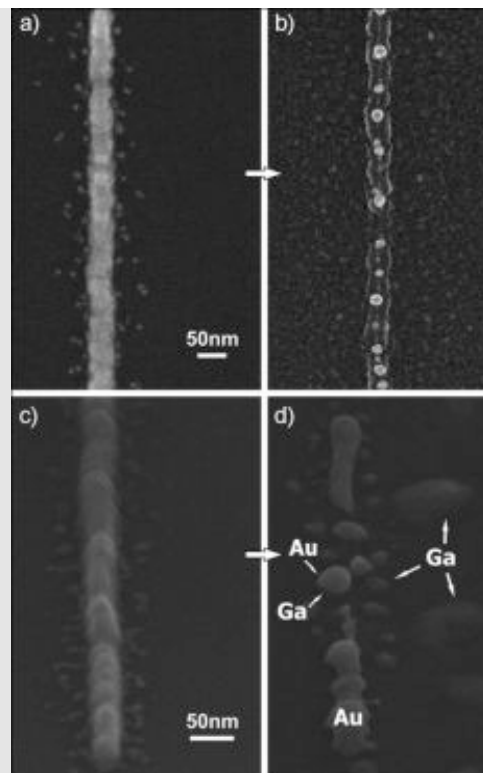


Рисунок 3: Данные сканирующей электронной микроскопии схожи с представленными на рис. 2, но получены для образцов, подвергавшихся травлению плазмой (а и б) или сфокусированным ионным пучком (с и d). а, с) Исходные нанонити, обработанные, плазмой и сфокусированным ионным пучком соответственно. б) Нанонити после травления аргоновой плазмой. Они разрушаются без значительного утончения. д) Нанонить, обработанная сфокусированным пучком ионов Ga^+ . Нить разбита на отдельные фрагменты из-за химических взаимодействий с наноконденсатом из нанесенного на поверхность галлия.

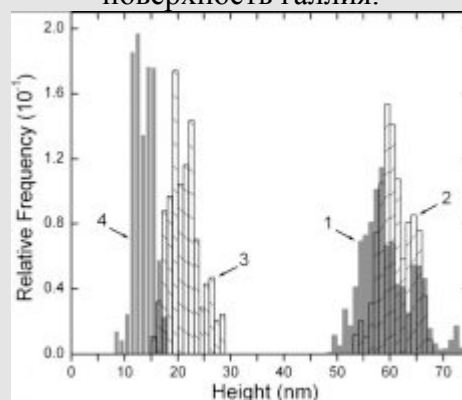


Рисунок 5: Распределение нанонитей золота, приведенных на рис. 2, по длине при бомбардировке катионами аргона. Распределение, измеренное в одних и тех же областях нанонити до (1) и после эффективной дозы в $1,56 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ (2), $2,35 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (3), и $2,94 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (4).

Фотонные кристаллы для чайников

Е.А. Смирнов

Е.А. Смирнов – аспирант ФНМ МГУ

Я не могу претендовать на то, чтобы беспристрастно судить о цветах. Я радуюсь сверкающим оттенкам и искренне сожалею о скудных коричневых цветах. (Сэр Уинстон Черчилль).

Происхождение фотонных кристаллов

Смотря на крылья бабочки или перламутровое покрытие раковин (Рисунок 1), удивляешься тому, как Природа – пусть даже за многие сотни тысяч или миллионы лет – смогла создать столь удивительные биоструктуры. Однако не только в биомире существуют подобные структуры с переливчатой окраской, являющиеся примером практически безграничных созидательных возможностей Природы. Например, полудрагоценный камень опал очаровывал людей с самых древних времён своим блеском (Рисунок 2).

Сегодня каждый девятиклассник знает, что не только процессы поглощения и отражения света приводят к тому, что мы называем цветовой окраской мира, но также процессы дифракции и интерференции. Дифракционные решётки, которые мы можем встретить в природе, представляют собой структуры с периодически изменяющейся диэлектрической проницаемостью, при этом их период соизмерим с длиной волны света (Рисунок 3). Это могут быть 1D решётки, как в перламутровом покрытии раковин моллюсков таких, как галиотисы, 2D решётки, подобные усикам морской мыши, многощетинкового червя, и 3D решётки, которые придают радужную голубую окраску бабочкам из Перу, равно как и опалу. [1]

В данном случае Природа, как, несомненно, самый опытный химик-материаловед, подталкивает нас к следующему выходу: трёхмерные оптические дифракционные решётки могут быть синтезированы путём создания диэлектрических решёток, которые геометрически комплементарны друг другу, т.е. одна является инверсионной по отношению к другой. А с тех пор как Жан-Мари Лен произнёс известную фразу: «Если что-то существует, то это может быть синтезировано», – мы просто обязаны реализовать данный вывод на практике. [1]

Фотонные полупроводники и фотонная запрещённая зона

Итак, в простой формулировке фотонным кристаллом называется материал, структура которого характеризуется периодическим изменением показателя преломления в пространственных направлениях [2], что приводит к образованию фотонной запрещённой зоны. Обычно, чтобы понять смысл терминов «фотонный кристалл» и «фотонная запрещённая зона», такой материал рассматривают в качестве оптической аналогии полупроводникам. Решение уравнений Максвелла для распространения света в диэлектрической решётке показывает, что из-за Брегговской дифракции распределение фотонов по частотам $\omega(k)$ в зависимости от волнового вектора k ($2\pi/\lambda$) будет иметь области разрыва. Данное утверждение графически представлено на Рисунке 4, где приведена аналогия между распространением электрона в 1D кристаллической решётке и фотоном в 1D фотонной решётке. Непрерывная плотность состояний, как свободного электрона, так и фотона в вакууме, претерпевают разрыв внутри, соответственно, кристаллической и фотонной решёток в так называемых «стоп-зонах» при значении волнового вектора k (т.е. импульса), который соответствует стоячей волне. Это и является условием Брегговской дифракции электрона и фотона. [1]

Фотонная запрещённая зона представляет собой диапазон частот $\omega(k)$ в обратном пространстве волновых векторов k , где распространение света определённой частоты (или длины волны) запрещено в фотонном кристалле во всех направлениях, при этом падающий на фотонный кристалл свет полностью отражается от него. Если же свет «возникнет» внутри фотонного кристалла, то он окажется «вмороженным» в него. Сама зона может быть неполной, так

называемой стоп-зоной. На рисунке 5 представлены 1D, 2D и 3D фотонные кристаллы в реальном пространстве и плотность состояний фотонов в обратном пространстве.

Фотонная запрещённая зона трёхмерного фотонного кристалла является некоторой аналогией электронной запрещённой зоны в кристалле кремния. Следовательно, фотонная запрещённая зона «управляет» потоком света в кремниевом фотонном кристалле аналогично тому, как происходит транспорт носителей заряда в кристалле кремния. В этих двух случаях образование запрещённой зоны обуславливается стоячими волнами фотонов или электронов, соответственно.

Сделай фотонный кристалл сам

Как ни странно, но Максвелловские уравнения для фотонных кристаллов не чувствительны к масштабированию, в отличие от уравнения Шрёдингера в случае электронных кристаллов. Это возникает вследствие того, что длина волны электрона в «нормальном» кристалле более-менее зафиксирована на уровне в несколько ангстрем, тогда как размерная шкала длины волны света в фотонных кристаллах может быть варьироваться от ультрафиолета до микроволнового излучения, исключительно за счёт изменения размерности компонент фотонной решётки. [1] Это приводит к поистине неисчерпаемым возможностям для тонкой настройки свойств фотонного кристалла.

В настоящее время существует множество методов изготовления фотонных кристаллов. Некоторые из них больше подходят для формирования одномерных фотонных кристаллов, другие удобны в отношении двумерных, третьи применимы чаще к трёхмерным фотонным кристаллам, четвёртые используются при изготовлении фотонных кристаллов на других оптических устройствах и т. д. [2] Однако не всё ограничивается только варьированием размерности структурных элементов. Фотонные кристаллы можно также создавать за счёт оптической нелинейности, перехода металл-неметалл, жидкокристаллического состояния, ферроэлектрического двойного лучепреломления, набухания и сжатия полимерных гелей и так далее, главное, чтобы изменился показатель преломления. [1]

Куда же без дефектов?!

В мире практически не существует материалов, в которых не было бы дефектов, и это хорошо. Именно дефекты в твердофазных материалах в большей степени, чем сама кристаллическая структура, влияют на различные свойства материалов и, в конечном счёте, их функциональные характеристики, а также возможные области применения. Аналогичное утверждение верно и в случае фотонных кристаллов. [1] Из теоретического рассмотрения следует, что введение дефектов (точечных, протяженных – дислокаций – или изгиба) на микроуровне в идеальную фотонную решётку, позволяет создать внутри фотонной запрещённой зоны определённые состояния, на которых может быть локализован свет, а распространение света может быть ограничено или наоборот усилено вдоль и вокруг очень маленького волновода (Рисунок 6). Если проводить аналогию с полупроводниками, то эти состояния напоминают примесные уровни в полупроводниках. Фотонные кристаллы с такой «управляемой дефектностью» могут применяться при создании полностью оптических устройств и схем нового поколения оптических телекоммуникационных технологий.

Светоинформатика

Полностью оптический чип состоит из интегрированных микроразмерных фотонных кристаллов с 1D, 2D и 3D периодичностью, которые могут играть роль переключателей, фильтров, низкопороговых лазеров и т. д., тогда как свет передаётся между ними по волноводам исключительно за счёт дефектности структуры. [1] И хотя тема фотонных кристаллов существует в «дорожных картах» развития фотонных технологий, исследования и практическое применение этих материалов всё ещё остаются на самых ранних стадиях своего развития. Это тема будущих открытий, которые могут привести к созданию полностью световых сверхбыстрых компьютеров, а также квантовых компьютеров. [5] Однако для того, чтобы мечты фантастов и многих учёных, посвятивших свою жизнь изучению столь интересных и практически значимых материалов, как

фотонные кристаллы, стали явью требуется ответить на ряд вопросов. Например, таких как: что необходимо изменить в самих материалах, чтобы решить проблему, связанную с уменьшением таких интегрированных чипов из микроразмерных фотонных кристаллов для широкого применения на практике? Возможно ли с помощью микроконструирования («сверху-вниз»), или самосборки («снизу-вверх»), или же какого-либо сплава этих двух методов (например, направленной самосборки) реализовать в промышленных масштабах производство чипов из микроразмерных фотонных кристаллов? Является ли наука о компьютерах на основе световых чипов из микрофотонных кристаллов реальностью или всё же это вымысел футуристов? [1]



Рисунок 1. Morpho didius бабочка с радужной окраской и SEM-микрофотография её крыла, как пример дифракционной биологической микроструктуры. [1]

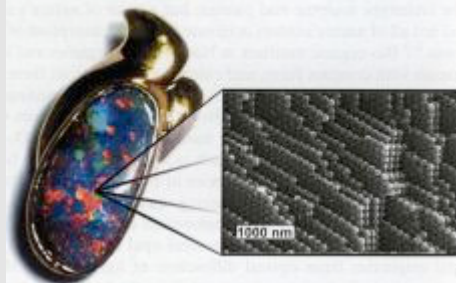


Рисунок 2. Переливающийся натуральный опал (полудрагоценный камень) и SEM-изображение его микроструктуры, состоящей из плотноупакованных сфер диоксида кремния. [1]

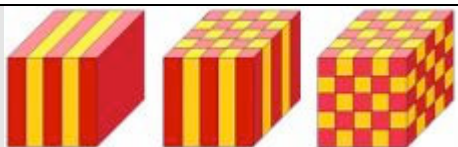


Рисунок 3. Схематическое представление одно- (слева), дву- (в центре) и трёхмерного (справа) фотонных кристаллов. [5]

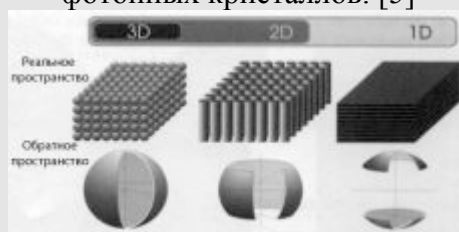


Рисунок 5. Фотонная решётка в реальном пространстве и плотность состояний фотонов в обратном пространстве для 1D, 2D и 3D фотонных кристаллов. Области, окрашенные в серый цвет, представляют собой направления, вдоль которых распространение фотонов запрещено из-за фотонной запрещённой зоны. [1]



Рисунок 4. Брэгговская дифракция электронов в 1D атомных кристаллах и фотонов в 1D фотонной решётке. Светлые зоны – диапазоны частот электронов и фотонов, при которых эти частицы не могут распространяться через кристалл из-за когерентной дифракции. [1]

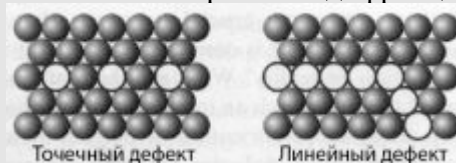


Рисунок 6. Точечный и линейный (дислокация) дефекты – два основных типа дефектов в фотонных кристаллах. [1]

Литература

1. Nanochemistry: A Chemical Approach to Nanomaterials, Geoffrey A. Ozin et al., The Royal Society of Chemistry, 2009
2. Википедия
3. Моделирование
4. Nature 386, 143 - 149
5. Нанотехнологии. Азбука для всех / Под ред. Ю.Д. Третьякова, Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2009

Микросферы – строительные блоки для фотонных кристаллов

Е.А. Смирнов

Е.А. Смирнов – аспирант ФНМ МГУ

Фотонные кристаллы – относительно новый класс материалов для оптики, оптоэлектроники, фотоники, уникальные свойства которых можно варьировать в широких пределах, что предполагается использовать при создании различных "фотонных микросхем", волноводов, низкопороговых лазеров и т.д. Подробнее о применениях фотонных кристаллов рассказано здесь. Однако одна из основных проблем при создании материалов для фотоники – эффективное и крупномасштабное производство высококачественных составных частей для тех или иных фотонных устройств.

А что нам, собственно, нужно?!

Структура крыла бабочки – впечатляющий пример природной дифракционной решётки, полученной с использованием биополимеров. Аналогичную микроструктуру можно получить и в лабораторных условиях. Многие методы синтеза трёхмерных и двумерных фотонных кристаллов основаны на процессах самосборки микросфер, что выдвигает к этим строительным блокам целый ряд требований. Во-первых, степень полидисперсности (понятие дисперсности дано в [2]) не должна превышать 5%, т.е. для частиц диаметром 1 мкм стандартное отклонение или разброс диаметров должен быть меньше 50 нм! Во-вторых, отклонения от идеальной сферической формы могут привести к нарушению плотнейшей шаровой упаковки частиц и, соответственно, к дефектности структуры. В-третьих, для эффективной работы того или иного фотонного кристалла требуется создать контраст диэлектрической проницаемости (в случае диэлектриков этот параметр связан с квадратом коэффициента преломления света) между самими микросферами и той средой, которая будет заполнять пространства между ними (это могут быть различные жидкости или газы, а также полимеры, наночастицы и пр.).

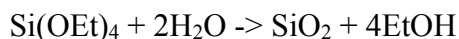
В одном из разделов химии, а именно в коллоидной химии, содержатся все необходимые знания для создания микросфер из различных материалов с очень узким распределением частиц по размерам для самосборки из них фотонных кристаллов. При этом диаметр микросфер можно контролируемо варьировать в широких пределах от десятка нанометров до нескольких микрон. Коллоидные частицы могут также быть получены с многооболочечной структурой типа ядро-оболочка-корона, с функциональными свойствами, обусловленными тем или иным компонентом структуры, например, как показано на Рисунке 1.

Существует два основных синтетических подхода к получению таких структур: одностадийный синтез и синтез путём "роста" (regrowth) уже полученных монодисперсных микросфер, так называемых зародышей роста (seeds).

В первом случае путём простого смешения определённых реагентов формируются микросферы, тогда как во втором случае необходимо наличие "зародышевых частиц", которые могут быть получены на первой стадии смешения реагентов, и в последствие вырастающие до необходимого диаметра за счёт постепенного контролируемого добавления реагентов.[1] И в том и в другом случаях сферичность частиц обусловлена минимизацией поверхностной энергии (т.е. поверхностного натяжения) на границе жидкость-твёрдое тело и аморфностью материала (диоксид кремния, полимеры). При этом рост на поверхности более мелких частиц имеет большую скорость за счет их более высокой поверхностной энергии, что создает дополнительный внутренний механизм «размерной фокусировки». Таким образом, полученные микросферы обладают высокой степенью монодисперсности, а их размер варьируется в широких пределах.[1]

Микросферы диоксида кремния

Монодисперсные микросферы диоксида кремния получают согласно модифицированной методике Штобера [3], заключающейся в контролируемом гидролизе тетраэтоксисилана под действием оснований с поликонденсацией формирующихся продуктов гидролиза в шарики аморфного материала, согласно следующей общей упрощенной реакции:



Одностадийный метод синтеза позволяет получить микросферы размером, не превышающим 600-700 нм, тогда как процесс "доращивания" расширяет диапазон диаметров частиц от 10 нм до нескольких микрон. Верхний порог размера не имеет принципиальных ограничений; нижней порог ограничен значительной растворимостью аморфного диоксида кремния.

Полимерные микросферы

Полимерные микросферы в основном получают несколькими методами: радикальной полимеризацией (например, стирола и акрилатов в присутствии инициатора - например, персульфата калия). Создание микросфер различного размера может использовать различные типы полимеризационных процессов и диспергирования: например, микроэмульсионного, эмульсионного, безэмульгаторного. Высокодисперсные частицы могут быть получены посредством последовательного роста микросфер, полученных на начальном этапе синтеза. На рисунке 2 представлены микрофотографии получаемых таким варьированием условий протекания полимеризации микросфер. Также используются различные виды инициаторов, поверхностно-активных веществ и сополимеров для формирования микросфер требуемого размера с определёнными зарядом и функциональными группами на поверхности. Более обще, фото- и терморреактивные полимеры являются перспективным классом материалов, позволяющим создавать различные типы микроструктур, в том числе фотонных кристаллы, посредством УФ и термо-обработки (PDMS и другие).

Микросферы с многослойной архитектурой

Создание многослойных микросфер (Рисунок 1) позволяет вводить несколько иногда совершенно отличающихся по своим свойствам функциональных групп в фотонную решётку, подчас кардинально изменяя её свойства по отношению к фотонному кристаллу из обычных микросфер. Например, можно создавать оболочки, содержащие флуоресцирующие красители, магнитные наночастицы, фотоактивные вещества, квантовые точки и т.д.

Микросферы типа ядро-корона и ядро-оболочка-корона как в случае диоксида кремния, так и полимеров обычно синтезируются путём "доращивания" исходных частиц, начиная с исходной частицы ядра и постепенно формируя оболочку или посредством гидролиза прекурсоров или полимеризацией.[1] Внешний слой короны может нести как функциональные, так и защитные свойства, обеспечивая стабильность частиц.

Применение таких многослойных микросфер различны. Например, флуоресцентные микросферы могут быть использованы для «зондирования» коллоидных кристаллов, выращенных на поверхностном рельефе кремниевых подложек (Рисунок 3), изучения дефектности структуры и т.д. А микросферы с внутренним градиентом диэлектрической проницаемости, аналогично, как и с градиентом магнитной проницаемости (коэффициент преломления зависит как от диэлектрической, так и магнитной постоянной материала), могут быть использованы для создания специфических фотонных кристаллов (Рисунок 4). Примеров использования таких многослойных микросфер, как в фотонике, так и других областях науки (доставка лекарств, катализ и т.д.), можно привести достаточно много.

На потоке: синтез микросфер в микрофлюидных реакторах

Пожалуй, единственный недостаток описанных выше методов синтеза микросфер из диоксида кремния и полимеров заключается в том, что технологически они основаны на золь-гель методе, то есть на гидролитической поликонденсации, и эмульсионной полимеризации, которые удобно использовать лишь в реакторах периодического действия и позволяют получать в основном изотропные (сферические) частицы. Воспроизводимость такого синтеза с точки зрения размера и дисперсности получаемых микросфер часто может зависеть от массы случайных факторов. Эти факторы могут быть в некоторой степени нивелированы при использовании непрерывных, потоковых реакторов, так как они работают в определённых стационарных условиях, обеспечивая должный контроль над протеканием реакции и воспроизводимостью продукта от запуска к запуску. [1]

Уменьшение таких микрофлюидных реакторов до миллиметровых и микронных размеров упрощает строение самих реакторов, улучшает режимы течения реагентов, увеличивает смешиваемость реагентов и т.д. И всё это достигается благодаря поверхностному натяжению на границе раздела двух жидкостей, которое при таких масштабах играет ключевую роль. Микросферы, синтезированные в микрофлюидных проточных реакторах, таким образом, имеют улучшенные, по сравнению с макрореакторами, характеристики: размер сфер и дисперсность, состав и форму. Однако не стоит забывать, что за всё приходится платить. В частности для оптимальной работы микрореактора требуется использовать специальное покрытие каналов политетрафторэтиленом (тефлон) для снижения адгезии коллоидных частиц к стенкам микроканалов, заряжать определённым образом поверхность коллоидов с целью увеличения электростатического отталкивания между самими микросферами и снижения их флокуляции, что будет, непременно, препятствовать протеканию жидкости через канал и т.д.[1]

Сегментированный проточный микрофлюидный реактор с четырьмя входными отверстиями для различных жидкостей L1-L4 изображён на Рисунке 5. Эффективность такой конструкции проточного реактора наглядно продемонстрирована на Рисунке 6, где представлены микрофотографии полученных микросфер и зависимость стандартного отклонения размера частиц от среднего значения в сравнении с обычным методом синтеза. Развитие данной тематики вылилось в специально спроектированное микрофлюидное устройство с фокусировкой потока, с помощью которого возможно создавать и формовать жидкие капли реагентов в микроканале с последующим их отверждением (в зависимости от природы вещества это может быть термо- или фотополимеризация, химическая реакция на поверхности раздела двух сред и т. д.) и формированием частиц с узким распределением по размерам варьируемого состава и в больших количествах! Ключевым элементом такого микрофлюидного устройства является насадка, фокусирующая поток, через которую две несмешивающихся жидкости А, В подаются под давлением (Рисунок 7). Геометрия сопла обусловлена тем, что жидкость А при истечении из сопла должна хорошо фрагментироваться, «дробиться» на отдельные монодисперсные капли во внутреннем канале, содержащем жидкость В, и при этом не смешиваться с ней.[1] Варьируя соотношение размеров микрокапли и канала, мы можем деформировать сферы и получать эллипсоиды, диски или палочки (Рисунок 8). Также универсальность этого метода была продемонстрирована при получении формованных частиц, состоящих из полимерных жидких кристаллов, полимеров, включающих в себя флуоресцентные красители, люминесцентные квантовые точки, магнитные нанокристаллы, и пористых полимеров. Этот же метод применяют для получения частиц - янусов. В целом, микрофлюидные реакторы, благодаря контролю за концентрацией и распределением реагентов, дают возможность получать частицы различного состава и архитектуры и, как следствие, широкого спектра функциональных свойств.

В заключении хотелось бы отметить, что в данной публикации описаны лишь наиболее часто используемые на практике методы синтеза микросфер, которые применяются при создании дву- и трёхмерных фотонных кристаллов, поэтому некоторые малоизвестные, но не менее интересные подходы, были оставлены за рамками рассмотрения.

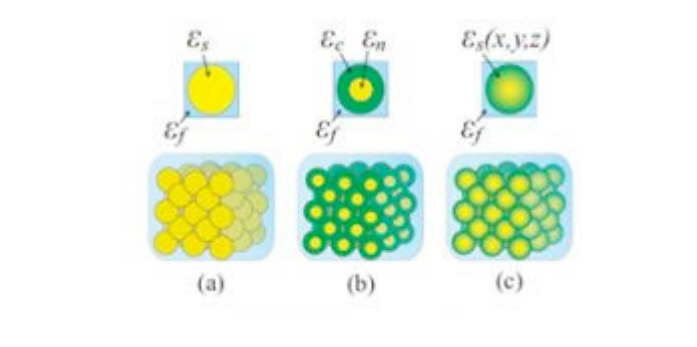
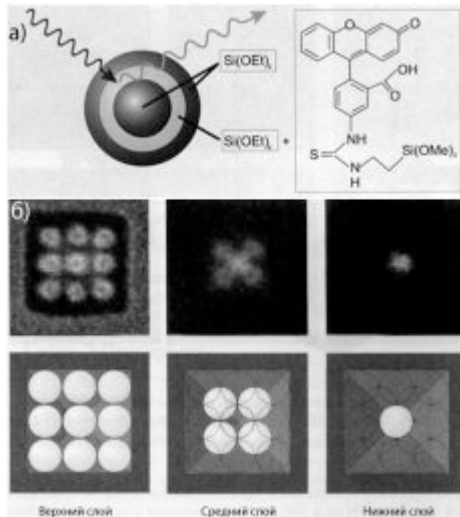
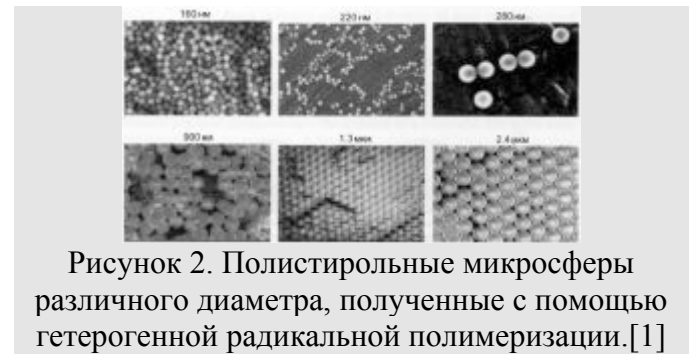


Рисунок 3. а) Микросферы ядро-оболочка-корона из диоксида кремния с флуоресцентной оболочкой, синтезированные путём добавления силианого производного флуоресцентного красителя в ходе процесса роста частиц.[1] б) Применение данных частиц для анализа упаковки микросфер внутри микроколдца с квадратно-пирамидальной формой, анизотропно вытравленном в кремниевой подложке, ориентированной вдоль (111). Верхние изображения получены конфокальной флуоресцентной микроскопией, а нижние изображения демонстрируют схематическую упаковку частиц.[3]

Рисунок 4. Схематическое представление двухкомпонентного ФК (а) и многокомпонентного ФК (b, c), образованных плотноупакованными сферами.[4]

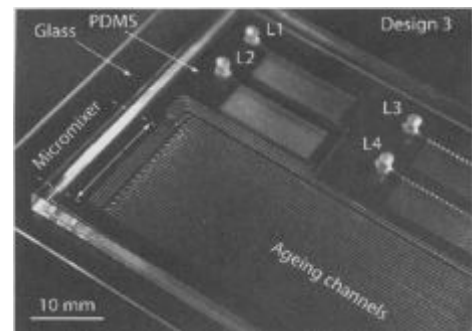


Рисунок 5. Сегментированный проточный микрофлюидный чип для синтеза микросфер.[5]

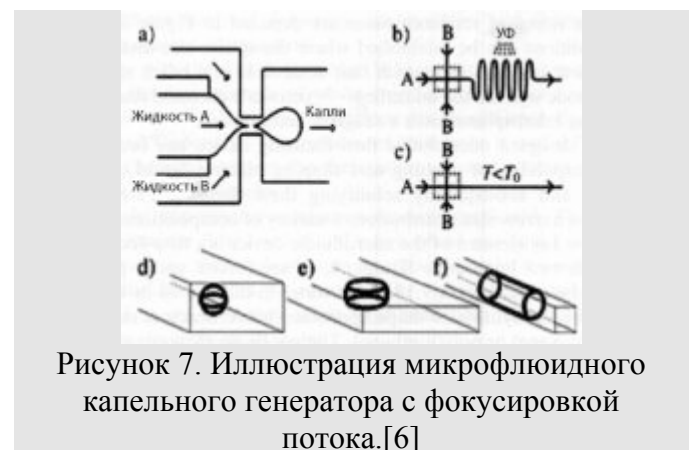


Рисунок 7. Иллюстрация микрофлюидного капельного генератора с фокусировкой потока.[6]

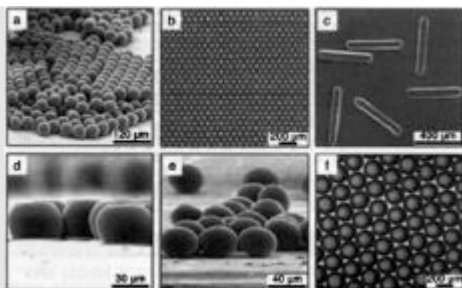


Рисунок 8. Примеры управления размерами и формой полимерных частиц, полученных в микрофлюидном капельном реакторе с фокусировкой потока.[6]

Литература:

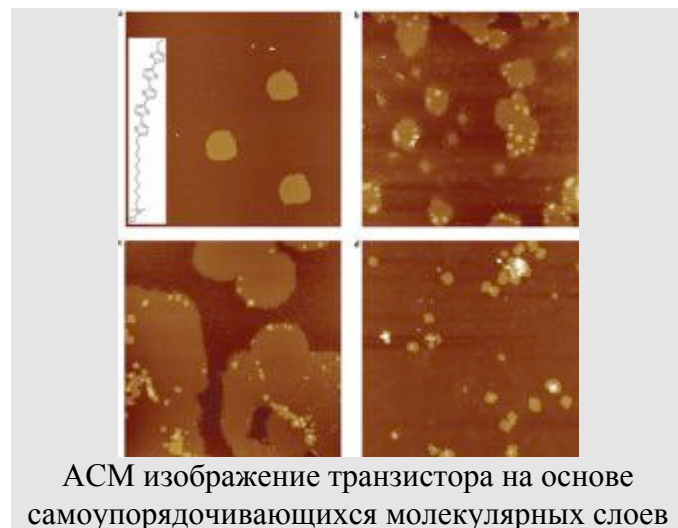
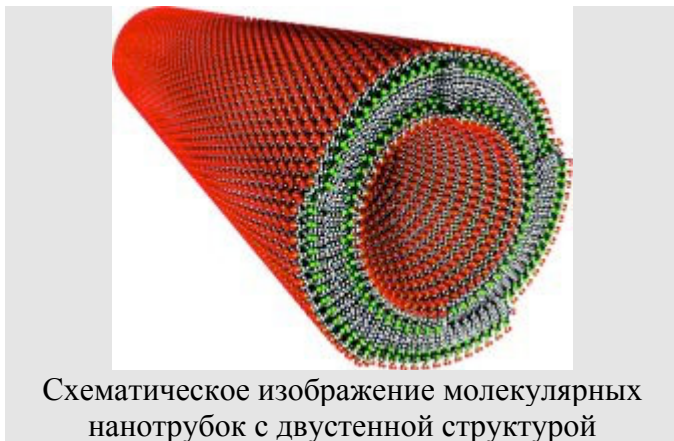
1. Nanochemistry: A Chemical Approach to Nanomaterials, Geoffrey A. Ozin et al., The Royal Society of Chemistry, 2009 (основной источник)
2. Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range
3. Internal photonic crystal lattice structures of planarized opal-patterned chips probed by laser scanning confocal fluorescence microscopy
4. Лекция, автореферат диссертации М.В.Рыбина
5. Microfluidic synthesis of colloidal silica
6. Generation of Monodisperse Particles using Microfluidics: Control over Size, Shape and Composition

Органика наступает

Nature Nanotechnology 4, 607 (2009), перевод: В.В.Уточникова (аспирант ФНМ МГУ)

Использование органических и молекулярных материалов в электронных устройствах традиционно было игрой компромиссов. Преимуществами были потенциально низкая стоимость, простота изготовления и уникальные свойства, например, прозрачность и гибкость, недостатки - узкий диапазон существования и относительно низкая проводимость. Эти "инь и ян" органической электроники постулировались как неизбежные. Так, отсутствие долгосрочного способа улучшить мобильность компенсируется гибкостью, и одно сложно представить без другого. Но сейчас все чаще появляются статьи, доказывающие, что колонку минусов можно сократить хотя бы за счет улучшения проводимости.

Например, Даго де Леув с коллегами создали полевой транзистор, канал между стоком и истоком, в котором состоит из самоупорядоченных монослоев жидкокристаллических органических молекул. Молекулы, содержащие спейсеры, могут укладываться в упорядоченные стеки, и уже было показано, что мобильность таких стеков не хуже, чем у монокристалла, а такая укладка получается воспроизводимо. При этом мобильность канала не меняется с его длиной (в отличие от обычных монослоев, мобильность в которых значительно снижается с ростом длины канала). В последних работах де Леув с коллегами показывают, что такое необычное поведение частично следует из удивительных электрических характеристик. Ни инжекция зарядов в канал, ни границы зерен, ни размер проводящих частиц самого канала не ограничивает проводимость, а в результате проводимость зависит от длины канала только в случае дефектов монослоя. Получается, говоря словами авторов, что уже "выполнены все предпосылки для эффективного переноса заряда в полевом транзисторе". Молекулярные самособирающиеся транзисторы, таким образом, стремительно выходят за пределы выдумки и фантастики.



В отличие от де Леува, Дэвид Ванден Боут с коллегами сосредоточены на получении органических молекулярных нанотрубок, а не монослоев. Итоговая структура, называемая J-агрегатом, среди прочего привлекает внимание своим узким эмиссионным спектром, высокой подвижностью в возбужденном состоянии и неплохим фототоком. Однако использование J-агрегатов в твердофазных устройствах, например, для переноса энергии, требует их фиксации на подложке с сохранением структуры и оптоэлектронных свойств. Для демонстрации такой возможности Боут с помощью оптической микроскопии ближнего поля исследовал осаждение на поверхности J-агрегатов двумя путями: классическим методом центрифугирования и методом потока капель. Основной идеей обоих методов является нанесение из раствора на подложку с последующей сушкой. Оказалось, что метод центрифугирования нарушает структуру, тогда как метод потока капель - нет. При этом структура и излучение вдоль отдельных нанотрубок, а также вдоль массивов нанотрубок остаются однородными. Кроме демонстрации сохранения структуры данные также свидетельствуют о высокой степени упорядоченности структур. Дальнейшее изучение транспорта электрон-дырочных пар вдоль J-агрегатов может помочь в создании устройств на основе этих структур.

И наконец, Франко Качиалли с коллегами сфокусировали свое внимание еще на одном типе органических материалов - поли(п-фенилен винилена), PPV, хорошо изученном органическом материале для транзисторов, солнечных батарей и светоизлучающих устройств. Наноструктурирование PPV при этом оставалось неизученным, поскольку он не выдерживает традиционных методов нанесения, таких как классическая фотолитография, требующая нанесения маски и использования растворителей. Вместо этого исследователи сосредоточились на так называемой "мягкой литографии".

Качиалли с сотрудниками остановили свой выбор на методах, основанных на нагреве, приводящем к образованию планарной структуры на поверхности. Ученые сделали метод более привлекательным, заметно увеличив скорость нанесения, и создали схему размером 28 нм, созданную с помощью нагревательного проводка диаметром 50 мкм! Такой небольшой размер может быть создан, поскольку площадь контакта проводка с поверхностью очень мала, а температуру можно варьировать в широких пределах вдоль полимерной пленки. Как показали Амар Басу и Йогеш Гианьяндани, этот метод хорош и тем, что может быть использован для различных применений для других полимеров, а также для материалов с мостиками.

Все эти исследования показывают, что "простой и дешевый" способ производства органических материалов, вероятно, требует проведения большого объема работ. Однако пока такая работа ведется, проявляются убедительные преимущества использования органических материалов. В конце концов, транзистор уже был получен, J-агрегаты нанесены и полимерная планарная структура "накапана" на подложку.

Остается добавить, что и российские ученые не стоят в стороне от органической электроники: например, органические солнечные батарейки по разным технологиям успешно делают в компании Crystacade Solar, на физфаке (группа Д.Паращука) и в Черноголовке.

Нанотрубки в медицине

Nature Nanotechnology 4, 627 - 633 (2009), авторы: А. Bianco, К. Kostarelos, М. Prato, перевод: В.В.Уточникова (аспирант ФНМ МГУ)

Одной из ключевых возможностей нанотрубок применительно к биологии и медицине является то, что они могут легко поглощаться клетками и поэтому могут выступать в роли переносчиков различных молекул, необходимых для лечения и диагностики. Более того, их уникальные электрические, спектральные и термические свойства в рамках биологических применений создают новые возможности для обнаружения и лечения заболеваний. Многими учебными и производственными лабораториями по всему миру интенсивно исследуются не только терапевтические и диагностические применения нанотрубок, а также их токсичность и возможные вызываемые ими патологии. Баланс риска и достоинств этого материала, по оценкам, во всех этих применениях и ответит на вопрос о дальнейшем применении этого материала.

Синтезированные нанотрубки нерастворимы в большинстве органических и водных растворителей и, таким образом, поверхность нанотрубок должна быть предварительно модифицирована для любых биологических применений. Так, было показано, что химически модифицированные нанотрубки являются уникальными переносчиками нуклеиновых кислот. Их использовали для направленного переноса маленьких органических молекул (например, лекарств от рака), как платформу для направленного переноса антибиотиков и для переноса белковых и углеводных заменителей, разрабатывали на их основе вакцины. Однако углеродные нанотрубки до настоящего момента еще находятся на ранней стадии медицинской разработки, эффективность и ограничения в их применении еще предстоит тщательно изучить. Возможная токсичность этих материалов очень активно обсуждается. Необходимо тщательно изучить влияние введения нанотрубок на биоконпоненты на клеточном (и физиологическом) уровне.

Дальнейшей проблемой является отсутствие утвержденного способа определения чистоты нанотрубок. Стандартная хроматография – например, хроматография тонких пленок и жидкостная хроматография высокого давления – достигли лишь малого успеха. Для перехода к широкомасштабным клиническим испытаниям должны быть решены эти и другие технические проблемы и созданы стандартные процедуры производства, очистки и модификации нанотрубок.

Как только эти проблемы будут решены, следует продемонстрировать неоспоримое преимущество нанотрубок над существующими альтернативными решениями, чтобы продолжились инвестиции в фарминдустрию в этой области. Демонстрация преимущества нанотрубок в медицине также нужна для исключения завышенных ожиданий, которые могут быть неконструктивными и нанести реальный вред развитию в этой области. Мы постараемся рассмотреть современное положение дел в этой области, касаясь только экспериментов *in vivo*.

Углеродные нанотрубки в наблюдении и лечении

Нанотрубки могут быть одно- и многостенными, и сейчас производятся в достаточном количестве для различных коммерческих применений. Их диаметр изменяется в нанометровом диапазоне, а длина может достигать нескольких микрон. В биоприменении первой проблемой была их нерастворимость в большинстве растворителей, а особенно в биологически совместимых буферах. Для совместимости нанотрубок с биологической средой было предпринято множество исследований. Двумя основными методиками являются нековалентное присоединение на нанотрубки амфифильных молекул (липидов или полимеров), а также ковалентное

модифицирование поверхности нанотрубок путем пришивания различных групп непосредственно к углеродному скелету.

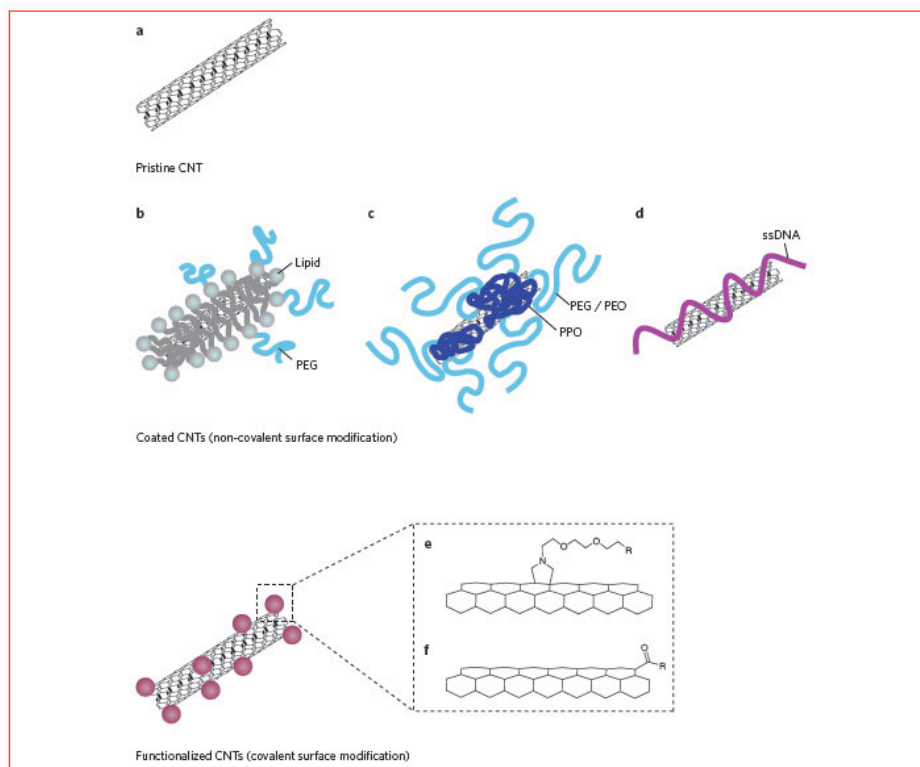


Рис. 1. Типы исследованных *in vivo* нанотрубок

На Рис. 1 показано, какие типы нанотрубок были изучены в биологических применениях с использованием моделей *in vivo*. Три показанные группы обладают различной структурой и поверхностью, что сильно влияет на их биоактивность. Исходные нанотрубки (Рис. 1а) уже являются прототипами, но сложны для использования в биологии, поскольку они плохо растворимы в водных растворах и имеют сильную склонность к агрегации. Интересно, что исходные нанотрубки - в основном, плохо растворимые в водных растворах, - были первыми, использовавшимися почти во всех токсикологических исследованиях. Их растворимость была существенно повышена при нанесении на поверхность нанотрубки амфифильных макромолекул, например, конъюгата липид-ПЭГ (Рис. 1b), сополимеров, ПАВ (Рис. 1c) и даже односпиральной ДНК (Рис. 1d). Ковалентно модифицированные нанотрубки, используемые в биомедицинских целях, изготовлены из исходного материала с поверхностью, модифицированной либо по реакции циклоприсоединения для пришивания аммонийных групп (Рис. 1e), либо обработкой сильной кислотой для образования карбоксильных групп (Рис. 1f). Оба способа химической обработки существенно улучшают растворимость в воде, а также предоставляют основу для дальнейшей модификации. После проведения всех исследований в этой области становится ясно, что степень агрегации нанотрубок в биологической среде играет важную роль при применении в фармацевтике.

Уроки, извлеченные из доклинических исследований

Все эксперименты с нанотрубками *in vivo*, известных на сегодняшний день, использовали один из способов, описанных выше (Рис. 1), а доклинические испытания в основном были сконцентрированы на онкологии, что делает рак одним из первых заболеваний, на которые будут получены, вероятно, первые клинические результаты. Нанотрубки обладают рядом преимуществ для терапии рака. Например, ковалентно модифицированные нанотрубки способны избегать предосматической области, попадая сразу в цитоплазмы разных типов клеток. Более того, их уникальные физические свойства допускают эффективную электромагнитную стимуляцию и высокоточное детектирование. Большая площадь поверхности и наличие внутреннего объема

допускают "загрузку" лекарств и других мелких молекул. Нанотрубки можно использовать для предотвращения роста опухоли в рамках использования химиотерапии и гипертермии. Также *in vivo* было изучено направленное лечение опухолей с использованием как нековалентно, так и ковалентно модифицированных нанотрубок. Несмотря на достигнутые результаты, однако, результаты сравнения с другими агентами с доказанной биологической эффективностью отсутствуют. Все опубликованные на сегодняшний день исследования в этой области классифицированы в Табл. 1.



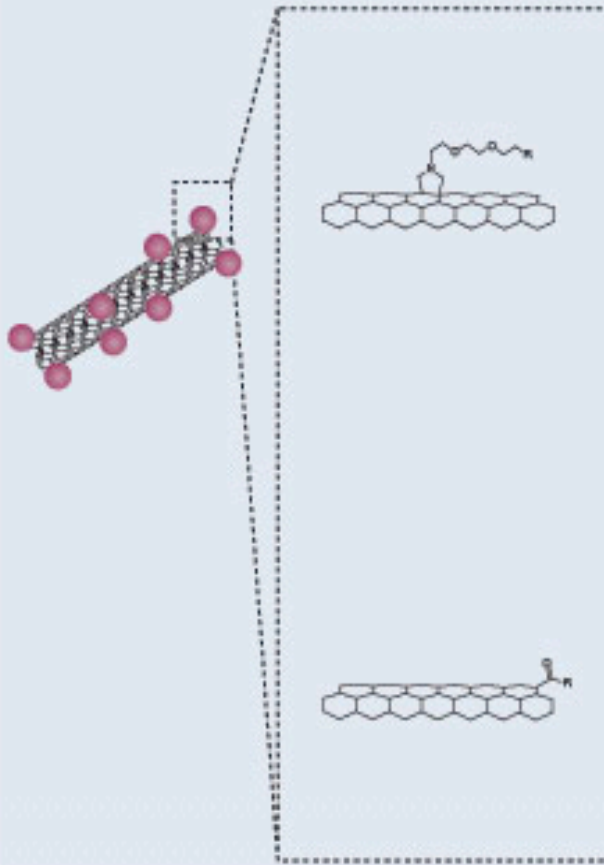
Первыми покрытие поверхности нанотрубок полимерами предложила группа Даи, они же затем и изучали их активность против рака. Периферийный конец ПГ обычно используется для связывания других молекул, например, целевых агентов, радионуклеидов, лекарств. Лечение опухолей может проводиться с использованием нанотрубок с нанесенным конъюгатом нанотрубка-ПЭГ-RGD (пептид аргинин-глицин-аспартам), а наблюдение велось с помощью Раман - спектроскопии. Терапевтический эффект был исследован с использованием лекарственного препарата Paclitaxel, прикрепленного к концу RGD цепи, но прямое сопоставление полученных результатов с утвержденными средствами (например, с Doxil) еще предстоит провести.

Еще одним способом применения нанотрубок для борьбы с раком является их способность превращать энергию электромагнитного поля в тепло. Гипертермия на основе нанотрубок при радиоволновой активации была проведена с использованием нанотрубок, покрытых Kentera (полимер, основанный на полифенилен - этинилене).

Химическая модификация нанотрубок предполагает, что после дальнейшей модификации терапевтическими агентами функциональные группы остаются жестко закрепленными на углеродном каркасе. В Табл. 1 представлены терапевтические модели, в которых сравниваются ковалентно и нековалентно модифицированные нанотрубки.

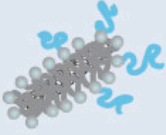

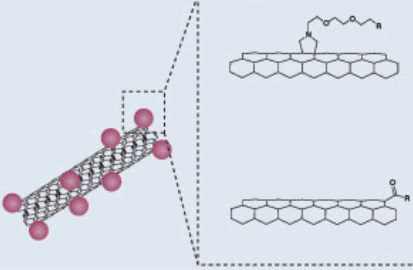
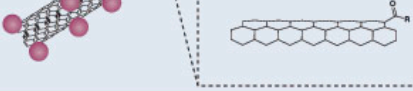
Использование нанотрубок в медицине, о котором впервые заговорили несколько лет назад, уже привело к некоторым результатам *in vivo*. В ближайшее время ожидаются новые результаты, ориентированные на лечение конкретных заболеваний. Есть и другие медицинские области применения, развитие которых только началось – в основном, инженерия (электроды для неврологии), ортопедические и зубные имплантаты, биосенсоры – которые лежат за пределами рассмотрения этой статьи. Такие применения, особенно те, которые не будут непосредственно контактировать с живыми организмами, могут быть разработаны быстрее.

Table 1 | Preclinical *in vivo* studies using carbon nanotubes.

Type of carbon nanotube*	Biomedical application	Therapeutic/ imaging agent	Preclinical model	Rats
	Cancer imaging (systemic)	Radionuclide (^{64}Cu)	Solid-tumour model	8
	Cancer treatment (systemic)	Paclitaxel	Solid-tumour model	16
	Cancer imaging (systemic)	Intrinsic Raman and ultrasound signal	Solid-tumour model	15
	Cancer imaging (localized)	Hyperthermia by radiofrequency activation	Solid-tumour model	10
	Vaccination	FMDV-derived peptides	Normal mice	21
	Vaccination	(AMA-1) peptide	Rodent malaria	20
	Imaging (systemic)	Radionuclide (^{111}In and ^{90}Y)	Normal mice	17, 18, 19
	Cancer imaging (systemic)	Monoclonal antibody (Rituximab)	Bone-marrow-tumour model	22
	Cancer treatment (localized)	Gene silencing (siRNA)	Solid-tumour model	13
	Cancer imaging (systemic)	Radionuclide (^{125}I and ^{14}C)	Normal mice	23, 24
	Cancer treatment (localized)	Gene silencing (siRNA)	Solid-tumour model	26
	Tumour vaccination	Tumour-lysate proteins	Solid-tumour model	25
Cancer treatment (systemic)	Cisplatin	Solid-tumour model	27	

*See Fig 1 for explanation of carbon nanotube types.

Табл. 1. Доклинические исследования нанотрубок *in vivo*

Table 2 Toxicity studies of carbon nanotubes developed for medical imaging and therapy.				
Type of carbon nanotube*	Route and method of detection	Organ accumulation and excretion route	Model and adverse effects	Refs
	Intravenous	Liver accumulation	Normal animals (mouse)	36,37
	• Raman spectroscopy • Optical microscopy (Hematoxylin-eosin histology)	Slow faecal excretion	No adverse effects	
	Intravenous	Liver accumulation	Normal animals (rabbit and mouse)	34,35,38
	• Near-infrared fluorescence • Mass spectrometry (¹³ C)	No excretion studied	No adverse effects	
	Intravenous	Limited organ (liver and lung) accumulation	Normal animals (mouse and rat)	19,40,41
	• Optical microscopy (Hematoxylin-eosin histology) • Electron microscopy (urine, kidney sections)	Urinary excretion	No adverse effects	
	Intravenous	Liver and lung accumulation	Normal animals (mouse)	23
	• Electron microscopy (liver sections)	Slow faecal and urinary excretion	No adverse effects	

*See Fig. 1 for explanation of carbon nanotube types.

Табл. 2. Изучение токсичности нанотрубок

Как спинтроника из лабораторий дошла до iPod?

W. Patric McCray, перевод: В.В.Уточникова (аспирант ФНМ МГУ)

В 1988 году Альберт Ферт и Петер Грюнберг независимо друг от друга обнаружили, что электросопротивление композитов, составленных из чередующихся слоев магнитного и немагнитного металла может невероятно сильно меняться при приложении магнитного поля. В течение десятилетия это, казалось бы, эзотерическое наблюдение революционным образом изменило электронную промышленность, позволяя накапливать на жестких дисках все возрастающий объем информации. И когда Ферт и Грюнберг в 2007 году разделили Нобелевскую премию за открытие гигантского магнетосопротивления (ГМС), Королевская Шведская Академия наук объявила, что "технология ГМС может рассматриваться как одно из основных направлений нанотехнологии, чрезвычайно популярного в самых различных областях". Однако открытие ГМС интересно по причинам, глубоко превосходящим ее "нанистость". История ГМС поднимает ряд вопросов о природе высокотехнологичной продукции. Является ли проверенная веками линейная модель - базовые исследования которой привели к применению - применимы к нанотехнологии? Или же, как утверждают многие, нанотехнология "постакадемична" и должна спонсироваться правительством и компаниями для решения специальных задач, а не заниматься развитием науки ради самой науки?

Открытие и коммерциализация

Магнетосопротивление, изменение электросопротивления, вызванное приложением магнитного поля, впервые было обнаружено физиком Уильямом Томасом (лордом Кельвином) в 1857 году, хотя физические основы этого явления стали понятны только в золотой век квантовой механики - времена Поля Дирака и Вольфганга Паули. Эффект был весьма невелик, обычно несколько

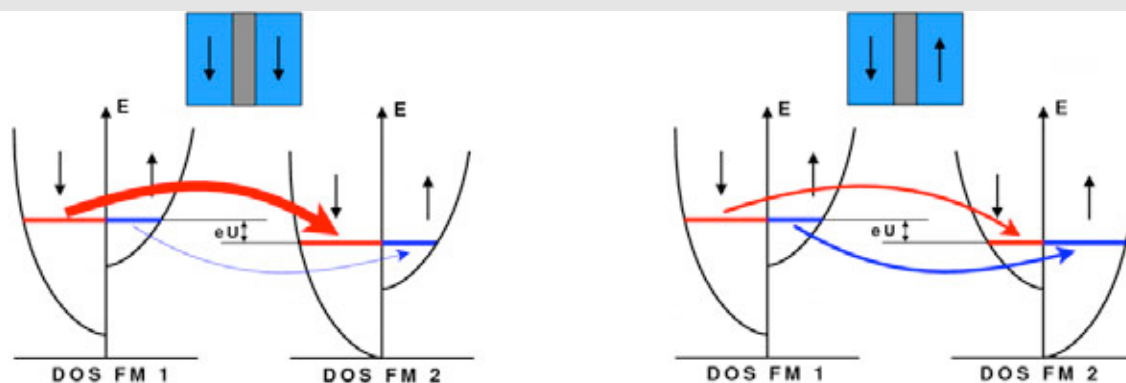
процентов, но достаточно заметен, чтобы использовать его в считывающих головках сенсоров для определения магнитного поля. Однако с обнаружением ГМС в 1988 году все изменилось. Грюнберг с командой в Германии обнаружили 10% изменение сопротивления в присутствии магнитного поля в структуре, состоящей из 1 нм слоя хрома между более толстыми слоями железа (ферромагнетика). Ферт же с сотрудниками в Париже обнаружили 50% изменение в более сложных структурах, содержащих до 60 чередующихся слоев хрома и железа. Обе команды для получения своих структур использовали молекулярно-лучевую эпитаксию. Хотя французская команда и создала термин "гигантское магнетосопротивление", именно Грюнберг понял, что эффект можно использовать для обнаружения слабых магнитных полей, и потому подал заявку на патент. ГМС легло в основу новой области - "спинтроники", называемой так потому, что наравне с электрическим зарядом в ней для хранения информации используются электронные спины.

Инженеры использовали ГМС в ряде таких применений, как сенсоры для определения очень слабых полей, но другие компании стремились занять с помощью ГМС более крупные и выигрышные рынки. Стюарт Паркин из лаборатории IBM с коллегами использовали обнаруженный эффект для считывающих головок, что позволило сделать диски с данными гораздо меньше, а информации хранить в 8 раз больше, о чем в 1997 году было написано на передовице The Wall Street Journal. Центральной частью работы Паркина стала демонстрация возможности наносить материал с ГМС распылением, а не молекулярно-лучевой эпитаксией, что сделало производство гораздо дешевле.

Эти разработки позволили произвести переворот в хранении информации, что в свою очередь позволило хранить гигабайты музыки, фотографий, видеоизображений не только на iPod, но и на других портативных устройствах. Один из членов Нобелевского комитета даже сказал, что "не было бы никаких iPod'ов без этого (ГМС) эффекта". Миллиарды долларов в год - вот объем рынка, который достался IBM благодаря ГМС. (Кстати первый iPod от Apple, созданный в 2001 году, использовал жесткий диск на основе ГМС, собранный компанией Toshiba.)

Рассуждения

Споры о природе нанонауки с акцентом на приложения показывает, что это один из первых полностью реализованных примеров "постакадемичной" науки. Другие, однако, говорят, что устройства на базе ГМС - демонстрация того, как финансовые вложения компаний позволяют привлечь на свою сторону лучших ученых, что впоследствии приводит к экономическому выигрышу. Однако историки признают, что "чистая наука" во многом - лишь социальное понятие, которое при ближайшем рассмотрении оказывается не таким простым. История спинтроники отражает сложные процессы. Так, во время Холодной войны для военных нужд велись финансирования исследований, которые затем стали ключевыми для развития спинтроники. После развала СССР такие исследования продолжились, однако со временем цели стали не военными, а гражданскими. Так, где же грани между наукой и коммерческими исследованиями? История развития спинтроники стирает или как минимум размывает эти грани.



Туннелирование спин-поляризованных носителей - основа эффекта магнетосопротивления и фундамент спинтроники.



Петер Грюнберг (слева) и Альберт Ферт обсуждают с прессой свое Нобелевское открытие колоссального магнетосопротивления в 2007 году



Считывающая головка диска TS1130 от IBM, способная хранить 1 Тбайт

Туберкулез и наночастицы: кто победит?

Автор: Ai Lin Chun, перевод: В.В.Уточникова (аспирант ФНМ МГУ)

По материалам *Diagnostics for Tuberculosis (WHO/TDR, 2006)*, *Global Tuberculosis Control 2009 (WHO, 2009)*

Туберкулез – инфекционное заболевание, являющееся причиной смерти миллионов людей ежегодно. Это заболевание вызывает бактерия *Mycobacterium tuberculosis*, которая атакует в первую очередь легкие, и распространяется воздушно-капельным путем при кашле и чихании инфицированного больного. Симптомами этого заболевания являются хроническое кровохаркание, высокая температура, испарина по ночам и потеря веса. Для диагностики туберкулеза существует множество методов, но все они не лишены недостатков. В 1870 году его научились определять при исследовании мазка слюны, который помещается на предметном стекле микроскопа и окрашивается с помощью краски, связывающейся с бактерией, вызывающей заболевание. Затем лаборант определяет число бактерий и степень опасности заболевания. Хотя этот способ быстрый и довольно дешевый, ему недостает чувствительности, которая еще снижается при одновременном инфицировании ВИЧ, что особенно опасно, поскольку туберкулез является основным убийцей людей, зараженных ВИЧ. Лучшим способом диагностики туберкулеза является исследование образца в лаборатории для определения развития родственных колоний. Этот метод может даже дать оценку отклика микобактерий на антибиотики, используемые для лечения туберкулеза. Хотя этот метод более чувствительный, он занимает от одной до трех недель. При этом во многих развивающихся странах нет возможности проводить этот метод. Таким образом, необходим новый метод диагностики туберкулеза, который был бы одновременно чувствительным, быстрым, недорогим и доступным для работы с необработанными биологическими субстанциями (такими как кровь, моча или слюна).

Решая эту задачу, Ralph Weissleder, Nakho Lee и Tae-Jong Yoon создали простой портативный чип, который может детектировать до 20 бактерий на миллиметр в необработанной слюне за 30 минут. При этом даже метод развития колоний определяет всего 10-100 бактерий на миллиметр, а занимает две недели. Созданный учеными прототип имеет три ключевых компонента:

1. магнитные наночастицы на основе железа, помеченные антителами, которые будут связываться с целевой бактерией (в нашем случае – туберкулезной),
2. микрофлюидная система для доставки бактерии и буферного раствора и
3. устройство для анализа наночастиц с микрокатушкой и мембранным фильтром для сбора, концентрирования и детектирования бактерий.

Новыми в этом устройстве являются магнитные наночастицы и мембранный фильтр. Специфичность системы зависит от антител, и ученым удалось добиться соотношения сигнал:шум=200:1. Такая чувствительность обеспечивается высоким магнитным моментом наночастиц. «Исходно у нас были проблемы с быстрым окислением наночастиц, что заметно снижало их магнитный момент, - говорят ученые, - но если поместить ферритовую оболочку вокруг железного ядра, проблема решается». Многие патологии опасны при очень низкой концентрации бактерий (до 1-2 на миллиметр и даже меньше), но мембранное концентрирование образца может существенно улучшить предел обнаружения. «Идея ввести мембранный фильтр появилась при приготовлении образцов туберкулеза для электронной микроскопии, когда образцы помещаются в шприц и концентрируются мембранным фильтрованием». С помощью устройства можно изучать также образцы крови и тканей, а поскольку выходным сигналом является сигнал ЯМР, метод свободен от ошибок, вызванных человеческим фактором, и почти не требует обучения. Есть и другие наносенсоры туберкулеза, однако они требуют очистки образца.

«Нанопроволочные сенсоры восприимчивы к редким электрическим разрядам от фонового объекта, а кантилеверные сенсоры используют высокочистые образцы для того, чтобы избежать ложных сигналов от, например, клеточных остатков».



Метод развития колоний



Бактерии, вызывающие туберкулез (ПЭМ)



Бактерии, вызывающие туберкулез, в слюне

Прижмем никель!

Science, Vol. 326 no. 5958 pp. 1384-1387, авторы: Michael Hamburger, Thomas Moore, перевод: В.В.Уточникова (аспирант ФНМ МГУ)

Электрокатализ является центральным элементом для дальнейшего создания электролизеров и топливных ячеек с протон-обменной мембраной (ПОМ), которые могут работать как компактные модули для снабжения энергией домов и автомобилей. Один прибор может как сохранять энергию, генерируя водород при избытке тока, так и быть источником энергии, окисляя водородное топливо при его недостатке (см. рисунок). Лучше всего на сегодняшний день эти цели могут быть достигнуты с использованием дорогих катализаторов на основе благородных металлов, но именно катализаторы на основе доступных металлов станут толчком к созданию долгосрочных энергетических систем.

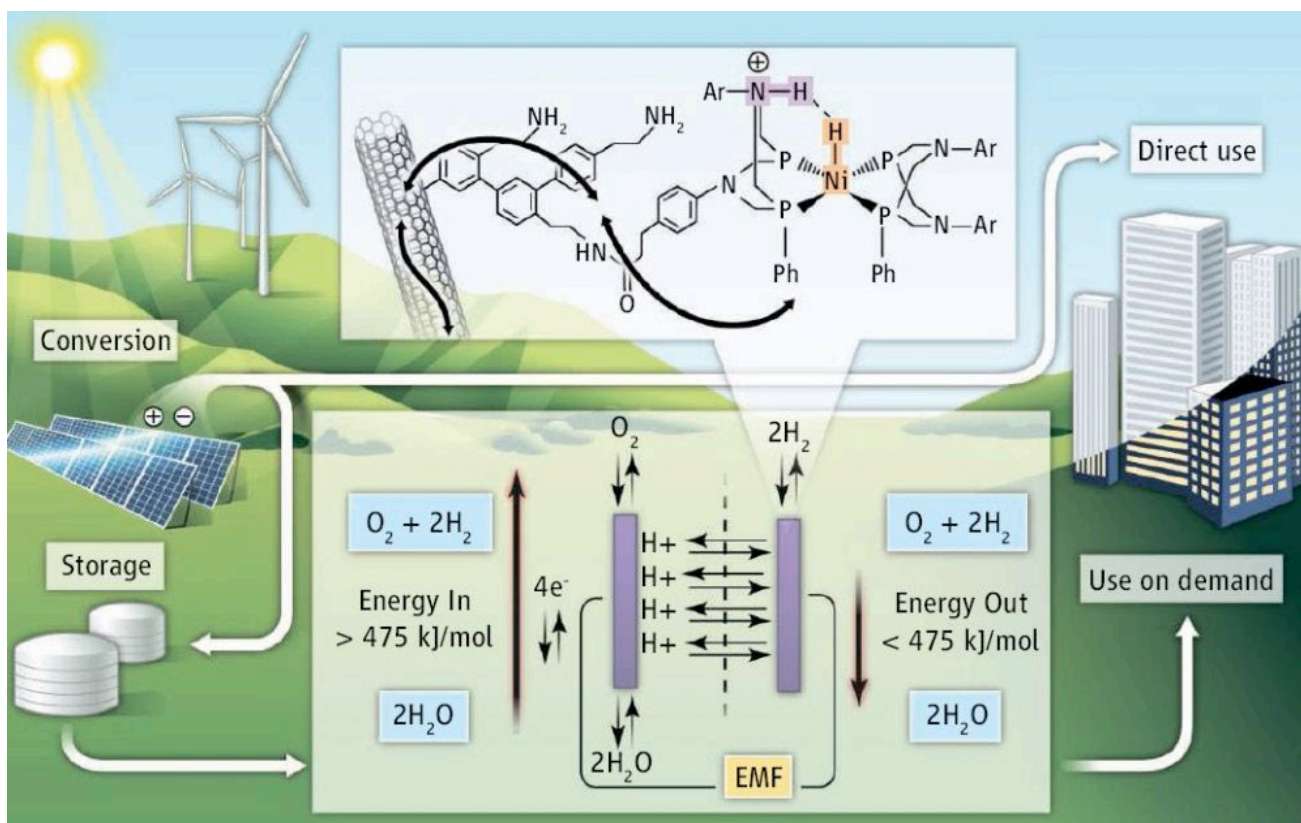
Ле Гофф с коллегами сделали шаг в этом направлении, создав водородный электрод, основанный на никеле - широко распространенном элементе, в котором катализатор фиксируется на углеродных нанотрубках в качестве носителя. Катализатор эффективно реализует обратимое превращение H^+ - H_2 в водной среде, делая шаг вперед к созданию дешевых водородных электродов. Хотя совершенно ясна необходимость создания возобновляемых источников энергии, неравномерное распределение ее основных источников - солнца и ветра - и несовпадение их доступности и потребности заставляет искать новые источники хранения энергии. Например, на пике солнечного излучения в лучшем случае можно получить 1 лошадиную силу (750 Вт) с одного квадратного метра выдерживаемой на солнце поверхности (а в действительности в настоящий момент и гораздо меньше). Недорогие устройства для концентрации и хранения возобновляемой энергии, высвобождающие энергию при необходимости, были бы идеальны, например, для деревьев.

Фотосинтетические организмы решают проблему концентрации солнечной энергии, собирая богатые энергией молекулы (топливо) днем и "сжигая" их в топливной ячейке (митохондрии), когда необходимо - днем или ночью. Также можно поступать и в инженерных системах. Многообещающие кандидаты для хранения электрической энергии - батареи или комбинация топлива и топливной ячейки. Но большую емкость легче представить в солнечных батареях, в которых сохранение топлива отделено от электрохимического процесса преобразования энергии. Более того, большие плотности энергии в топливе (особенно в водородном) и простота их возобновления делают их особенно привлекательными.

Никелевые комплексы, созданные Ле Гоффом, близки к ранее открытым Дюбуа с коллегами. В этих соединениях мягкие фосфиновые лиганды стабилизируют низшие степени окисления никеля, что делает катализаторы более безопасными для окружающей среды. Введение небольшого количества основания в окружении никеля позволяет контролировать движение протонов в ходе каталитического цикла. Фиксация комплекса в работе Ле Гоффа позволяет катализатору работать в водной среде, что принципиально важно для возможности их использования в электролизерах и топливных ячейках с ПОМ.

Никелевые соединения напоминают активные фрагменты энзима гидрогеназы, которая катализирует обратимое превращение H^+ - H_2 с огромными скоростями с использованием обычных металлов. Хорошим примером такого поведения функционального фрагмента гидрогеназы является как раз никельбисдифосфин. Однако этот катализатор стабилен в анаэробной среде, в отличие от большинства природных гидрогеназ.

Однако несмотря на все достижения, остаются, конечно, и проблемы. Комплексы Ле Гоффа работают в десять раз медленнее, чем созданные ранее, скорее всего, из-за объемных функциональных групп. Плотности тока на два порядка ниже, чем для платиновых коммерческих электродов. Но возможности для дальнейшей оптимизации позволяют рассчитывать на стабильный электрод на основе дешевых металлов.



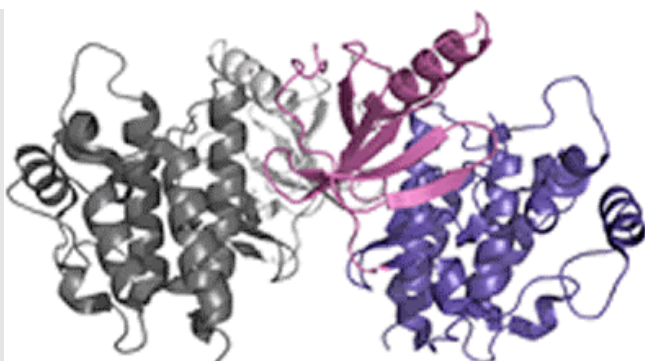
Целенаправленное лечение меланомы

Science Vol. 326 no. 5960 p. 1619, автор: Кен Гарбер, перевод: В.В.Уточникова (аспирант ФНМ МГУ)

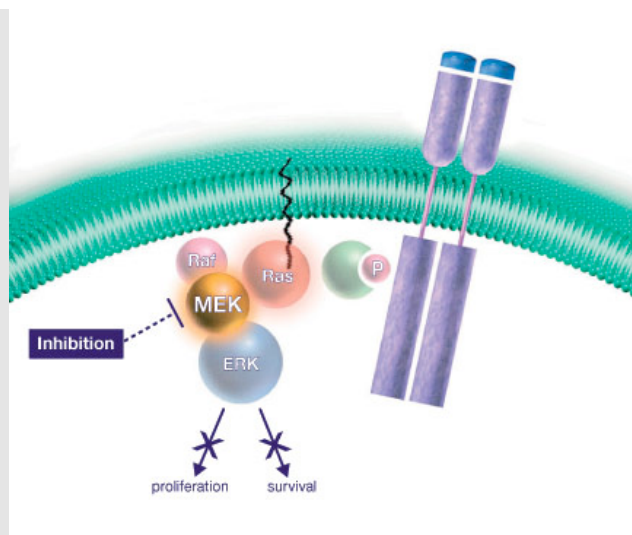
Метастатическая меланома - одно из страшнейших раковых заболеваний. В среднем после установления диагноза пациент может прожить еще до 9 месяцев, а число успешно вылеченных пациентов ничтожно мало. Единственным утвержденным лекарством от метастатической меланомы является декарбазин, утвержденный в 1975 году. Его скорость отклика составляет 15%, и на сегодняшний день все попытки ее улучшить провалились.

Поэтому понятно, что скепсис в этой области чрезвычайно велик. Поэтому когда Вильям Келин из Бостона заявил о возможности повысить скорость отклика до 70%, это заявление было встречено всеобщим недоверием. Но необходимость поиска более эффективного средства, который увеличит среднюю продолжительность жизни больного, остается очень острой, и потому препарат PLX4032, который Келин тестировал в компании Plexxikon, тем не менее вызывает интерес ученых, которые стремятся разобраться, в чем секрет его эффективности. Этот препарат служит для направленной молекулярной терапии, как и многие другие. Он связывается и дезактивирует белок BRAF, который вызывает мутации около 60% всех меланом, большинство из которых вызвано единственной мутацией. Мутировавший BRAF начинает распространять в клетке сигналы по пути контроля размножения, что приводит к паранормальному размножению, и теория воздействия препарата такова, что если прервать этот путь распространения сигнала, опухоли будут разрушаться. Это, на первый взгляд, вызывает недоверие - мутаций BRAF так много, что ни один онкоген не может быть особенно важным. Предыдущие эксперименты, направленные на атаку BRAF, потерпели неудачу. Но PLX4032 работает иначе: он связывается с мутировавшим BRAF существенно лучше, чем с нормальным BRAF. Это приводит к тому, что до 90% путей распространения блокируются. Причем из-за того, что он почти полностью связывается с опухолевыми формами, его можно вводить в организм в больших дозах, что не приведет к нежелательным побочным эффектам.

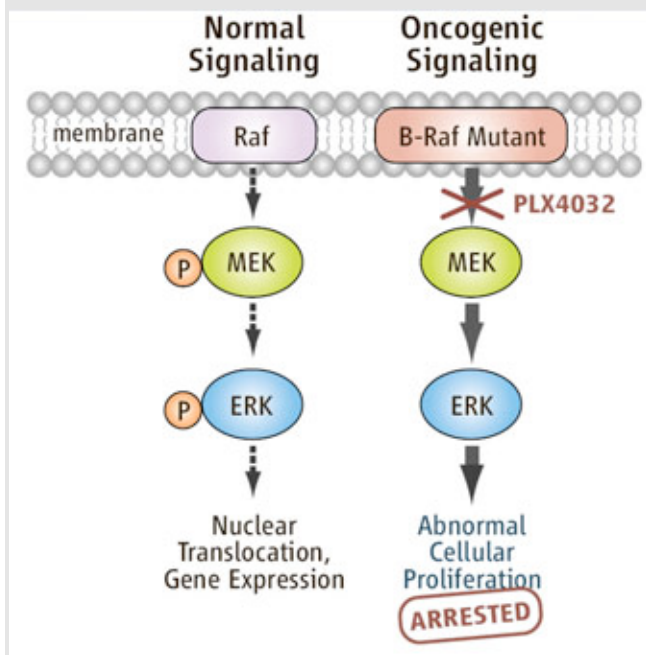
К сожалению, пока конкретный механизм работы остается загадкой. Почему он так селективен по отношению к мутанту? Возможно, он может связываться и со здоровыми клетками, но не нарушает их сигнальный путь. Так или иначе, побочного эффекта можно не бояться, утверждает исследователь в области раковых опухолей Франк МакКорник из Калифорнийского университета. Побочного эффекта, связанного с прекращением нормального сигнального пути, но не прочих эффектов. Например, при использовании PLX4032 у пациентов наблюдалось нарушение кожного покрова, называемое кератоакантомой. Это доброкачественная опухоль, но длительное лечение может стать причиной другого вида рака - не меланомы. Тем не менее клинические исследования показывают, что в настоящий момент PLX4032 является одним из наиболее многообещающих препаратов для лечения меланомы. Как говорит Келин, "Мы на верном пути!"



Кристаллическая структура белка RAF



Вот так распространяется сигнал от RAF



А так PLX4032 блокирует распространение сигнала от мутировавшего BRAF

Нанозаводик в каждом из нас

В.В.Уточникова

В.В.Уточникова – аспирант ФНМ МГУ

В статье использованы материалы: Acc. Chem. Res., Acc. Chem. Res., Angew. Chem. Int. Ed., Angewandte Chemie, Ann. Rev. Biochem., J. Biol. Chem., Nature Chem., Science

Клетки - строительный материал любого живого организма - состоит из множества нанометровых компонентов с различными специальными функциями. Например, 5-6 нанометровая клеточная мембрана защищает клетку от окружающей среды, молекула ДНК 2 нанометровой толщины несет генетическую информацию и т. д. Нанообъекты размером от нескольких нанометров до нескольких сотен нанометров осуществляют разнообразные клеточные функции, что позволяет назвать клетку биомашинной микронного размера, самоуправляемой и саморегулируемой, и осуществляющей огромное число химических процессов [1]. С этой точки зрения заманчивым было бы создать наноструктуры, которые могли бы взаимодействовать с нанообъектами в клетках, отслеживать и регулировать их. Возможность контролировать один из процессов синтеза внутри клетки уже была продемонстрирована ранее [2].

В последнее время, благодаря быстрому развитию нанотехнологий, был достигнут значительный прогресс в этой области. Например, присоединяя к квантовым точкам антитела, можно получить синтетические нанообъекты для наблюдения за клетками [3]. Но несмотря на успех в создании наноструктур и пришиванию их ковалентными связями к клеточной поверхности, у биологов и медиков остается задача, как заставить синтетические нанообъекты взаимодействовать с клеточной машиной [4].

Есть несколько путей, которыми наноматериал попадает в клетку. Основная проблема в каждом из них - это необходимость преодолеть клеточную мембрану, поэтому необходимо создавать небольшие молекулы, которые легко смогут пройти через нее, и строить из них наноструктуру внутри клетки. Однако большинство процессов, которые можно использовать для образования таких ковалентных связей, протекают в неводной и даже в нефизиологической среде, что несовместимо с клеточной средой. Таким образом, можно выделить следующие требования к подобным реакциям:

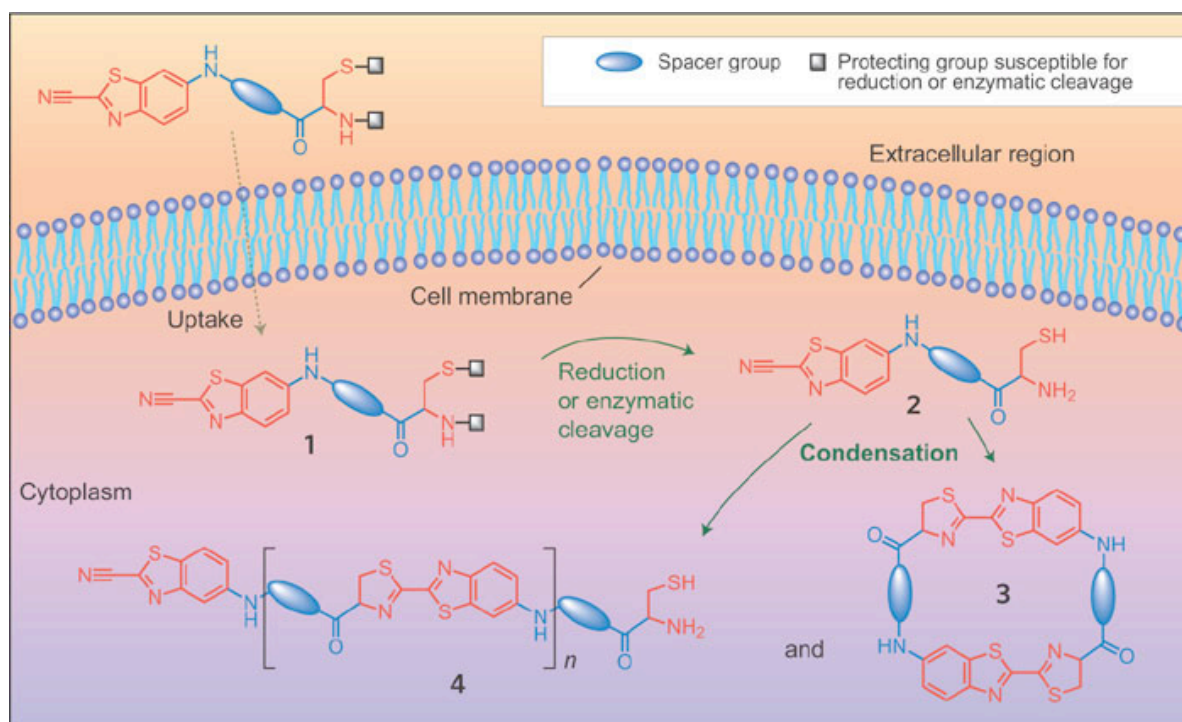
- биосовместимость - необходимо свести к минимуму число реакций с компонентами клетки,
- эффективность - реакция должна протекать с разумной скоростью даже при низкой концентрации реагента,
- локальность - реакция должна протекать только внутри клетки или даже только в одном специфическом месте клетки, и, наконец,
- возможность точного контроля - реакция должна протекать только тогда, когда требуется.

Лучше всего такие реакции проводит Природа. Например, светлячки производят люциферин - небольшие молекулы, отвечающие за их желто-зеленое свечение, - в ходе конденсации 2-цианобензотиазола (ЦБТ) с 1,2-аминтиолом в D-цистеине [5]. Вдохновленные этим, ученые создали ряд прекурсоров, например, как 1 на Рис. 1, в которых ЦБТ присоединен к защищенной 1,2-аминтиольно группе небольшим спейсером (например, одиночная молекула амина). Прекурсор 1 имеет небольшой молекулярный вес, растворим в воде и может преодолеть клеточную мембрану. Защитная группа создана так, что через час после попадания в клеточную мембрану она удаляется либо в ходе восстановления, либо в ходе гидролиза. В результате образуется свободный 1,2-аминтиол (2), который затем претерпевает самоконденсацию с образованием димера (3) и олигомеров (4), которые, в свою очередь, могут собираться в наноструктуры. Кроме довольно высокой константы скорости [6], что редкость для биосовместимых реакций, одной из заметных особенностей этой реакции является то, что она контролируется молекулами, уже существующими внутри клетки в ходе специфического восстановления и/или ферментативного расщепления.

Изучая различные мономеры, ученые показали, что конденсация контролируемо протекает в водной среде. Форму, размер и собственно собирающуюся наноструктуру можно контролировать,

изменяя структуру исходного мономера. На следующем этапе они получили мономер, снятие защиты в котором происходит внутри клетки, и успешно провели внутриклеточную реакцию конденсации. Присоединенный к прекурсорам биотиновый хвостик позволил отслеживать образование продукта с помощью флуоресценции. Когда под действием фермента фуринпротеазы отщеплялись защитные группы, продукт собирался около зоны Гольджи, где и располагается белок фурин. По изменению флуоресцентных свойств можно судить и о дальнейшей конденсации агрегата с образованием нерастворимых осадков. Это особенно ценно, поскольку специальный фермент может отследить расположение синтетической наноструктуры внутри клетки. Это может иметь множество практических применений, например, как уже было показано, для визуализации злокачественных опухолей и направленного переноса лекарственных средств. А именно, присоединяя лекарство от рака или визуализирующий материал, можно провести селективную конденсацию в опухолевых клетках.

Использование небольших молекул для строительства наноструктур внутри клеток может стать новым способом понимания и регулирования происходящих в клетках превращений, что раньше было затруднено из-за небольшого числа биосовместимых реакций.



Конденсация в клетке.

НаноеДА!

В.В.Уточникова

В.В.Уточникова – аспирант ФНМ МГУ

В статье использованы материалы *Silver Hydrosol, Nature Nanotechnology* 5, 89 (2010)

До сих пор термин "нано" не вызывал особого отторжения у населения: нанотехнологии на пользу компьютеров всеми только приветствуются, а появление устройств вроде плеера iPod Nano и автомобиля Tata Nano делают этот термин привычным. Но если слово "нано" на телефоне вызывает уважение, а на носках - улыбку, то "нано" на продуктах питания скорее заставляет задуматься и даже заволноваться. Поэтому для внедрения нанотехнологий в продукты питания и упаковку для них нужно учитывать множество других факторов, не возникавших прежде в других областях.

Сегодня на рынке почти нет продуктов питания на основе нанотехнологий.

Есть два основных направления, в которых у нанотехнологий есть преимущество в области пищевой индустрии:

- использование наноматериалов для снижения количества жира, соли или сахара в пищевых продуктах без изменения их вкусовых качеств
- создание новой упаковки, которая будет дольше сохранять продукты свежими и возможно даже сообщать потребителю, не пора ли выбросить испорченный продукт.

Улучшенная упаковка возможно даже позволит держать большее количество продуктов при обычных условиях, а не в холодильниках и морозильных камерах, что поможет экономить электроэнергию.

Но сегодня в магазинах почти нет продуктов питания, созданных или упакованных с использованием нанотехнологий.* По данным FSA (Food Safety Authority) их вообще всего два, причем один из них - коллоидное серебро для приема внутрь - скорее всего будет запрещено для продажи в Европе из-за отсутствия достаточной информации о его влиянии на человеческий организм.**

И все это при том, что уже более 400 компаний по всему миру исследуют возможность применения нанотехнологий в пищевой промышленности - и большинство из них не хотело бы доносить это до своих потребителей. Получается, что компании отказываются обсуждать о работе в этой области, боясь, что потребители могут негативно среагировать на использование в продуктах питания и их упаковке высоких технологий, а это именно тот тип поведения, который и вызывает ту самую реакцию общества, которой они хотят избежать!

Всего несколько групп ученых занимаются изучением того, как наноматериалы влияют на желудочно-кишечный тракт.

По-видимому, необходимо создание комитета, который будет заниматься созданием базы данных по исследованиям, проводимым в области "наноеды". Эту информацию можно будет использовать, чтобы отслеживать возможные риски и устанавливать приоритетные исследования, а также составить для потребителей список продуктов с использованием нанотехнологий.

Несмотря на это всего несколько групп занимаются, например, изучением того, как наноматериалы влияют на желудочно-кишечный тракт. Кроме того, при работе комитета нужно четко определять границы нанотехнологий по конкретным свойствам материалов, а не просто по снижению размера частиц до 100 нм.

Нанотехнологии есть что предложить пищевой промышленности, но принимать ее дары нужно с осторожностью.

* Может, это и хорошо?..

** А мы всю жизнь пили "серебряную воду"...



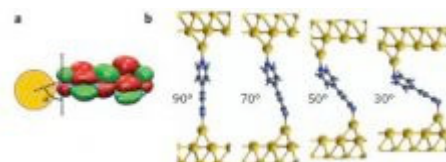
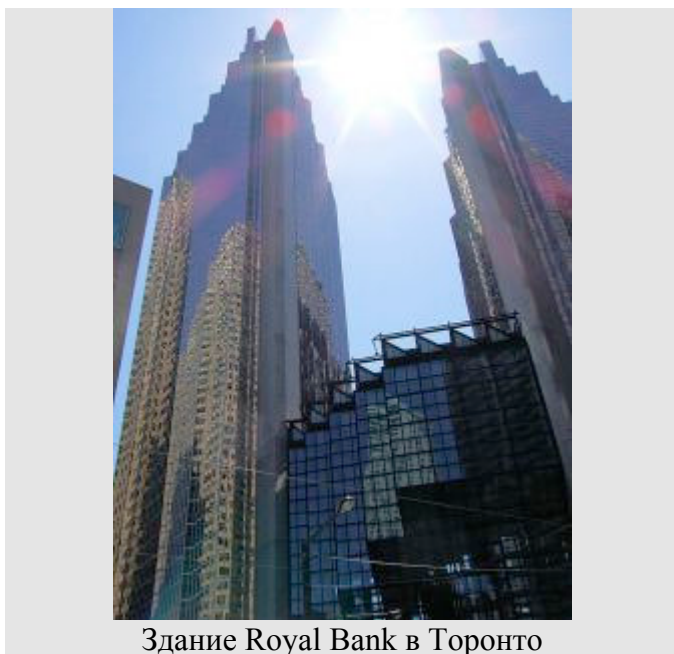
Давнишняя мечта нанотехнологов: упаковка, которая отслеживает свежесть продуктов.

Нанотехнологии берут золото

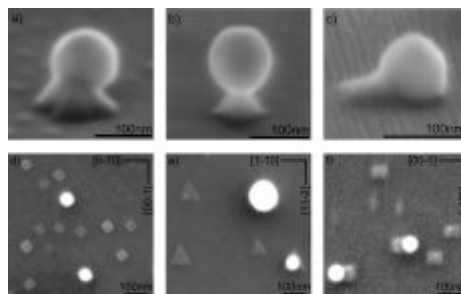
Nature Nanotechnology 5, 167 (2010), перевод: В.В.Уточникова (аспирант ФНМ МГУ)

Штаб-квартира Королевского Канадского банка – Royal Bank – расположена в Торонто. В этом здании более 14,000 окон – и каждое из них покрыто слоем 24-каратного (100%) золота. Общая стоимость золота на стеклах составляет более одного миллиона долларов. Нужно это для того, чтобы отражать тепло и инфракрасное излучение, что позволяет существенно экономить на обогреве и вентиляции помещений. Так что, несмотря на широкое использования золота в ювелирной промышленности и в финансах, 79-й элемент находит себе применения и во множестве менее "гламурных" и более прагматических областей...

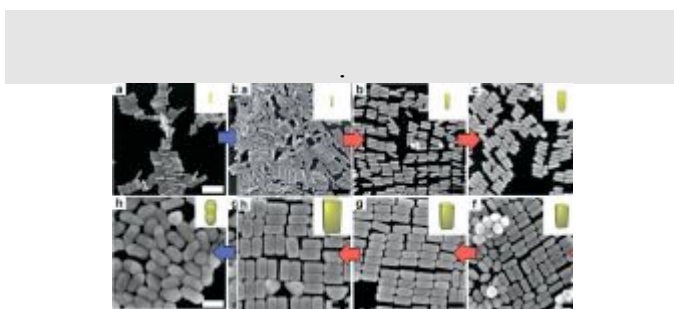
Золото является классическим наноматериалом по многим причинам. Оно химически инертно в объемном состоянии, и потому в прошлом многие считали его довольно скучным с точки зрения химии элементом, но иное дело - наночастицы золота. Язык не повернется назвать их инертными, а на их применениях в области катализа ряда важнейших химических реакций были сфокусированы многие исследования прошедших десяти лет, хотя до сих пор остается вопросом, когда же золотые катализаторы мигрируют с лабораторных столов в промышленность.



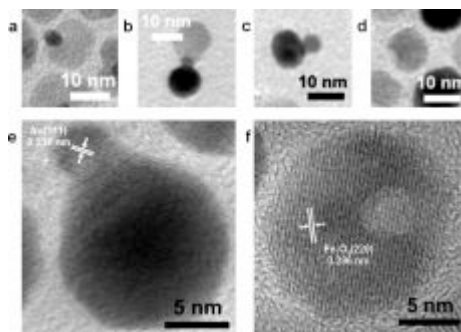
Молекулярный переключатель на основе золота и бипиридина



Рост золотых наносфер на подложке для катализа



Рост золотых наностержней для различных применений



Перетягивание частицы золота, закрепленной на оксиде железа, другой частицей золота, при создании бифункциональных материалов

Одним из основных преимуществ золота для множества практических применений является то, что оно не окисляется. Кроме того, оно мягкое и ковкое, обладает хорошей электропроводностью и нетоксично. Каждый месяц выходят научные журналы, содержащие статьи, посвященные использованию золота, основанному на одном или нескольких из этих применений: контакты стока и истока в экспериментальных наноэлектронных устройствах, например, часто делают из золота (или золота и титана). Первое наблюдение молекулярного отклика в мономолекулярном транзисторе, о котором писал Нанометр, наблюдали, нанося золотые нанонити, поверх которых наносили молекулы. Но золото не перестает нас удивлять. Джун Лу с коллегами обнаружили, что получить «сварочный шов» между двумя нанонитями золота можно, просто приведя их в соприкосновение. А World Gold Council фокусирует внимание на двух областях применения: окружающая среда и здоровье. К первому применению относятся очистка воды, топливные элементы, солнечные батареи и улучшенные катализаторы (что приведет к увеличению эффективности многих промышленных процессов). В медицине огромное количество исследователей изучают возможность использования наночастиц золота для лечения раковых заболеваний. Основной идеей является создание системы, которая сможет распознавать поврежденные клетки и опухоли, что снизит вред, наносимый здоровым клеткам при терапии, поскольку при этом планируется, что "агрессивные" лекарства будут попадать только в опухоли и не затрагивать здоровые клетки. Кроме того, возможно посредством облучения нагревать наночастицы, что приведет к «выжиганию» опухоли. Еще одним применением является ранняя диагностика послеоперационного рецидива рака простаты.

Так что, по-видимому, нанотехнологии продолжают брать золото ... для своих многочисленных практических применений.

Голубая мечта светодиодов

В.В.Уточникова

В.В.Уточникова – аспирант ФНМ МГУ

Органические светоизлучающие диоды за несколько лет превратились из предмета лабораторных исследований в перспективные устройства с огромным потенциалом. Возможность создавать гибкие панели, низкие пороговые напряжения, широкий - до 170° - угол обзора, большая продолжительность службы. Работа таких устройств основана на люминесценции эмиссионного органического слоя при приложении напряжения. Таким образом, одной из важных задач при создании таких устройств является выбор такого материала, который будет обладать яркой люминесценцией и стабильностью в режиме работы устройства, а также обладать хорошей проводимостью носителей заряда – электронов и дырок, – при рекомбинации которых в эмиссионном слое и происходит свечение.

Все больше ученых работает для развития этого направления, в том числе создания новых электролюминесцентных материалов, однако исторически создание полноцветных RGB-диодов упиралось в низкое время работы голубых красок по сравнению с красными и зелеными, а также в более низкую интенсивность их люминесценции. Поиск новых голубых люминофоров не прекращается ни на минуту, однако информация о новых перспективных материалах публикуется не так часто.

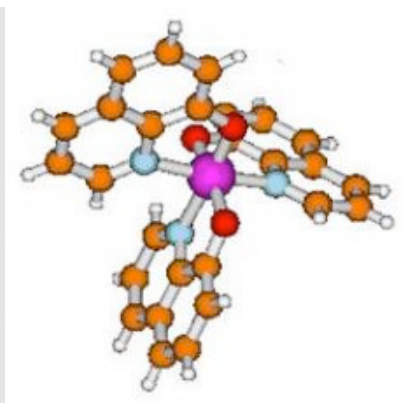
В основном есть два направления поиска таких соединений, оба из которых основаны на модификации ранее полученных ярко люминесцирующих материалов. Первый класс таких соединений - это координационные соединения металлов, таких как алюминий и цинк. Первым - и до сих пор самым распространенным - соединением этого класса является комплекс алюминия с 8-оксихинолином (AlQ_3), который обладает интенсивной зеленой фотолюминесценцией, а также хорошим транспортом носителей заряда. Модификацией входящего в его состав лиганда Q можно добиваться изменения длины волны люминесценции, смещая ее в синюю область. Так поступили,

например, ученые из Гонконга [1], которые получили метильное производное Q, сместив таким образом максимум излучения на длину волны 500 нм без потери интенсивности и продолжительности излучения. С использованием такого материала удалось в том числе получить светодиод со стартовым напряжением 9 В и максимальной светимостью 14070 Кд/м² при 480 мА/см².

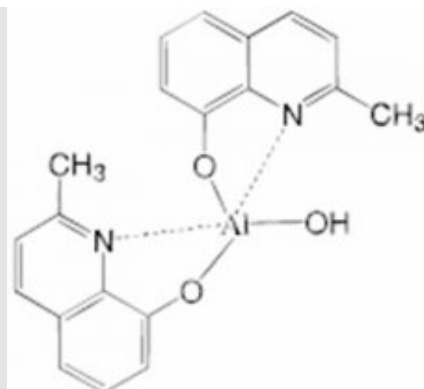
Заменой лиганда Q на N,O-донорный лиганд PPO удалось сместить полосу люминесценции еще сильнее вправо: Al(ppo)₃ имеет максимум люминесценции при 450 нм, а светимость достигает 15000 Кд/м² при 250 мА/см² [2]. При переходе к комплексам цинка полосу люминесценции удается сместить еще сильнее: Zn(N,O-OPh^{OxZ}ArX)₂ с X = PhNMe₂ имеет максимум люминесценции 430 нм, что уже вполне достаточно, а максимальная светимость в его случае доходит до 10000 Кд/м²[6].

Вторым классом соединений, среди которых ведется поиск, являются металлорганические соединения иридия. Их особенностью является наличие непосредственно связи металл-углерод, что приводит к специфике их синтеза и хранения. Первым из таких соединений стал Ir(ppu)₂ с зеленой люминесценцией, но уже переход к фторированным материалам позволяет сместить полосу люминесценции в область ниже 500 нм. Таким соединением является FIr(pic) [3,4], а так же ряд соединений, в которых обе связи иридий образует с углеродом[5]. Интенсивность люминесценции таких соединений сильно зависит от матрицы, в которую они помещены. Так, варьируя эту матрицу, ученым из Pacific Northwest National Laboratory удалось получить голубой люминофор с внутренним квантовым выходом (EQE) до 25%.

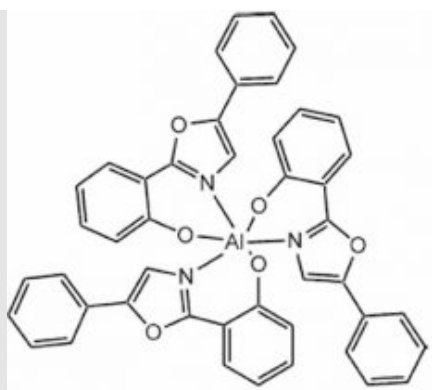
Ученым под руководством Asanga Padmaperuma удалось добиться того, что до четверти электрической энергии преобразуется в голубой свет. Ученые уже давно работают в этом направлении, и уже в 2009 году вышла статья о получении EQE=17% [3] с использованием амбиполярной матрицы на основе фосфиноксида. Новый материал, позволяющий поднять EQE еще на 8%, пока не раскрывается, однако если все данные подтвердятся, светлое будущее светодиодов станет еще ближе.



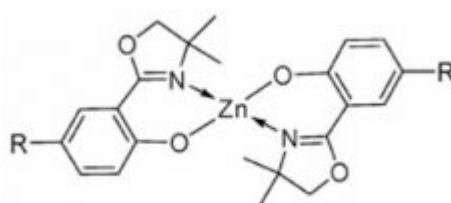
AlQ₃



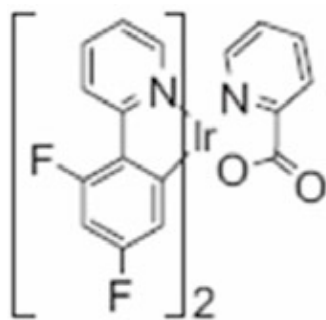
Al(Mq)₂OH



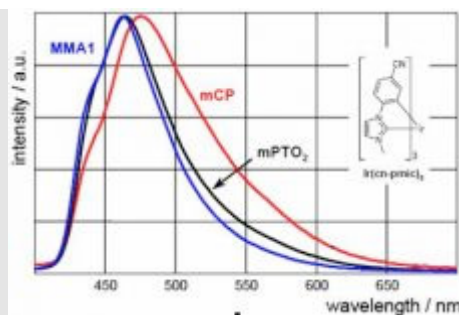
Al(ppo)₃



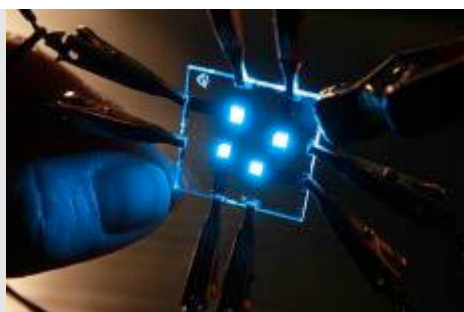
Цинковый комплекс с длиной волны люминесценции 430 нм



$\text{Ir}(\text{pic})_2$



Влияние матрицы на люминесценцию (на примере соединений иридия с двумя Ir-C связями)



Рекордсмен с EQE=25%

- [1] J. Am. Chem. Soc. 2000, 122, 5640-5641
- [2] Science and Technology of Advanced Materials 5 (2004) 325–329
- [3] APPLIED PHYSICS LETTERS 94, 223304 (2009)
- [4] Adv. Mater. 2008, 20, 4189–4194
- [5] SID 06 DIGEST 131
- [6] Inorg Chem. 2008 Jul 7;47(13):5666-76

35 атомов, которые изменили мир

Chris Tometu, перевод: В.В.Уточникова (аспирант ФНМ МГУ)

В статье использованы материалы: Айглер двигает атомы в Бостоне, Айглер и Швайцер о 35 атомах, Бинниг и Рорер: Нобелевская лекция, Рассел Янг о топографайнере

Если когда научному сообществу и требовались доказательства реальности нанотехнологии, Дон Айглер и Эрхард Швайцер привели такое доказательство в выпуске Nature от 5 апреля 1990 года. Ученые, работавшие в исследовательском центре IBM в Калифорнии, использовали сканирующий туннельный микроскоп для перемещения по металлической поверхности индивидуальных атомов. Таким образом они создали, возможно, самый популярный образ нанотехнологии - буквы IBM, написанные на никелевой поверхности 35 атомами ксенона.

Ученые десятилетиями изучали атомы и субатомные частицы внутри них, но увидеть отдельные атомы настолько четко - и даже перемещать их! - совсем другая задача. Статья в Nature продемонстрировала, что средствами нанотехнологии можно контролировать материалы на наноуровне, атом за атомом. И если назвать Айглера и Швайцера как героев апреля 1990 года, нужно упомянуть и третьего героя: сканирующий туннельный микроскоп. Научные приключения, приведшие к прорыву ученых, длились до того как минимум 35 лет. 11 октября 1955 года в Пенсильванском университете Эрвин Мюллер с использованием полевого ионного микроскопа, охлажденного до температуры жидкого азота, зафиксировал изображение решетки вольфрама, в которой были видны индивидуальные атомы.

Еще один герой этого приключения - Рассел Янг, который изобрел "топографайнер" в ходе своей работы в Национальном бюро стандартов США. Прибор состоял из вольфрамового полевого излучателя, закрепленного на пьезоэлектрической платформе. При помещении излучателя на расстояние около 3 нм от поверхности образца появлялся электрический ток, что приводило к высвобождению с поверхности электронов и фотонов. Пара детекторов использовалась для фиксации этих электронов и фотонов при движении излучателя вдоль поверхности при зафиксированном расстоянии между излучателем и поверхностью, что позволило превратить эти измерения в трехмерную картинку поверхности. Обычно вертикальное разрешение составляло 3 нм, но иногда топографайнеру удавалось достичь разрешения до 0.3 нм (чего вполне достаточно, чтобы фиксировать ступеньки на поверхности высотой в один атом). Однако у топографайнера было два ограничения: 1. он не мог видеть отдельные атомы и 2. высокое требуемое напряжение иногда повреждало поверхность.

Глядя на отдельные атомы

первый сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) был создан в 1981 году Гердом Биннигом и Хайнрихом Рорером, которые хотели изучить атомную поверхность более детально, чем было возможно в то время. Бинниг и Рорер, работавшие в лаборатории IBM в Цюрихе, поместили ультратонкий зонд на поверхность пьезоэлектрика, подвели конец зонда на расстояние порядка нанометра от поверхности и приложили напряжение, заставляя электроны из зонда туннелировать к образцу. Туннельный ток был очень чувствителен к расстоянию между зондом и поверхностью, поэтому по изменению этого тока при движении зонда вдоль поверхности позволило увидеть такие малые объекты, как атом.

Развитие топографайнера подошло к концу в 1970-х годах. Полевой ионный микроскоп до сих пор играет в микроскопии важную роль, но СТМ и его младшая сестричка, атомно-силовой микроскоп (АСМ), сегодня делают всю самую тяжелую работу в области наноизображений. На момент выпуска своей статьи в августе 1985 года в Scientific American Бинниг и Рорер описывали свое изобретение только как устройство визуализации, а не инструмент для перемещения отдельных атомов. Статьи о том, что с помощью СТМ можно перемещать объекты на наноуровне, начал писать в 1985 году инженер из Аризоны Конрад Шнайкер. Он назвал СТМ "машиной Фейнмана", поскольку он думал, что это поможет исполнить идею Фейнмана по точному контролю отдельных атомов и молекул. В декабре 1986 года Бинниг и Рорер включили в свою нобелевскую лекцию небольшое рассуждение о том, что СТМ может стать "машиной Фейнмана".

Оставалось недолго до демонстрации возможностей СТМ по перемещению атомов. В январе 1987 года, спустя месяц после получения Биннигом и Рорером Нобелевской премии, Рассел Бекер с коллегами из лаборатории Белла объявили, что с использованием зонда СТМ им удалось модифицировать на атомном уровне поверхность германия. Этот "поверхностный бит", по их словам, представлял собой "наименьшее на сегодняшний пространственное переупорядочение атомов на поверхности", хотя происхождение такого "поверхностного бита" оставалась неясной. Затем, в 1988 году, Джозеф Фостер из IBM объявили, что с помощью СТМ могут "приколоть" отдельную органическую молекулу на поверхность углерода, а также удалять другие молекулы с такой поверхности. Манипуляция на наноуровне вышла на финишную прямую.

Двигая атомы

28 сентября 1989 года Айглер переместил атом ксенона туда и сюда между двумя дефектами на поверхности платины. В своем лабораторном журнале за тот день под заголовком "Впервые контролируем движение атома" Айглер написал "Получилось", "Получилось" и "Опять получилось! 3 в ряд." Хотя отдельный атом и был передвинут, визуализация на платиновой поверхности была затруднена. Айглеру нужна была поверхность, на которой было бы ясно видно, что он достиг атомного разрешения в позиционировании.

Поверхность кристаллического (110) никеля, полученная коллегой Айглера Джо Штором, решила эту проблему. 9 и 10 ноября 1989 года Айглер и Швайцер, ученый, приехавший с визитом из Берлина, охладили камеру СТМ до 4 К и поместили на никелевую поверхность атомы ксенона. После размещения случайным образом атомов ксенона, они подвели зонд СТМ ближе, чем

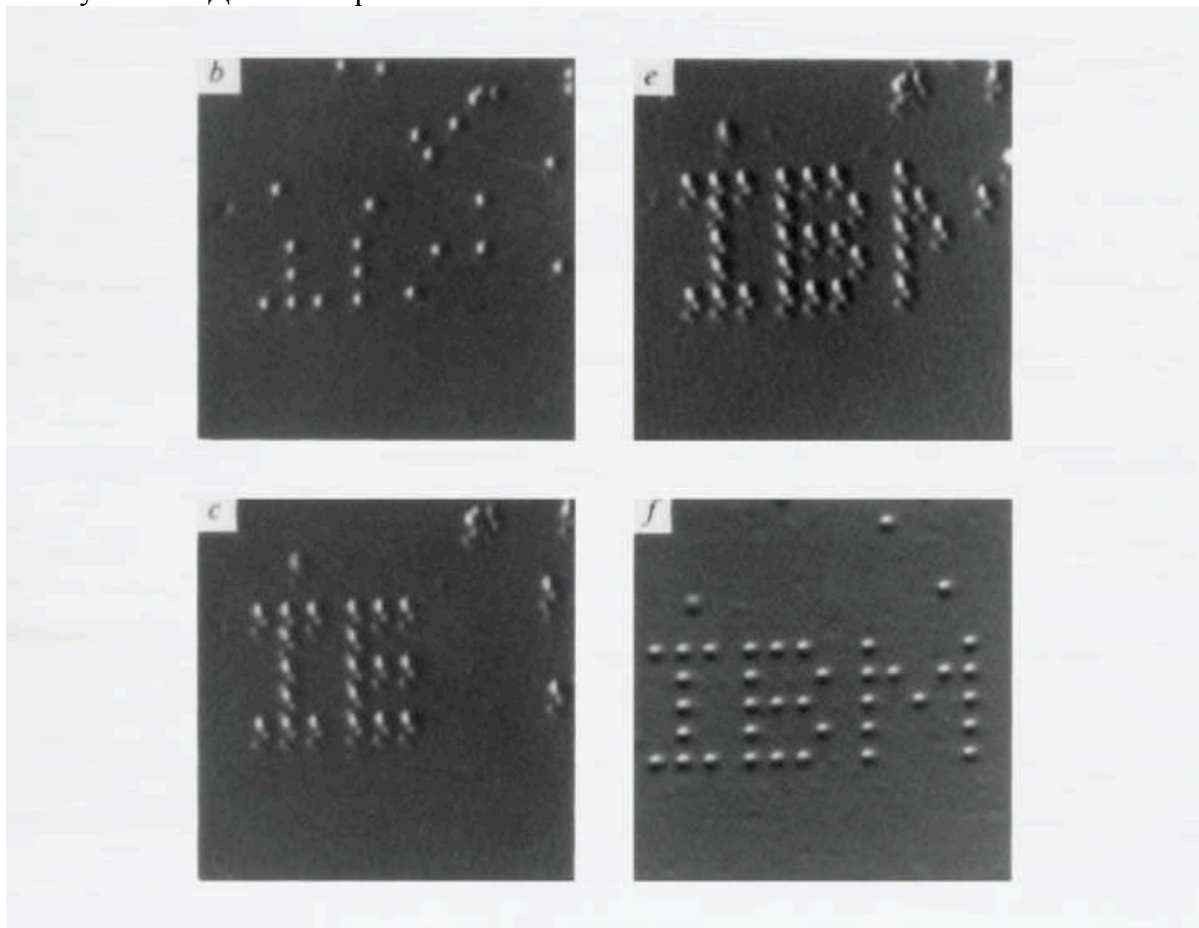
обычно требовалось для визуализации, что позволило приклеить атом к зонду, перенести вдоль поверхности к нужному месту и отсоединить в этом месте. После того, как они проделали это с 35 атомами ксенона, по одному за раз, в течение 22 часов, атомами было выложено слово IBM. Они назвали это "первой конструкцией по упорядоченному размещению атомов". 14 февраля 1990 года Айглер использовал для перемещения атомов другой метод: вместо того, чтобы таскать атомы вдоль поверхности, он приподнимал их над поверхностью никеля и опускал в новом месте. В лабораторном журнале в тот день слова "успешно поднял" и "успешно опустил" повторялись 6 раз - никаких сомнений в воспроизводимости, - а затем крупно и жирно написано: "Мне действительно весело!!"

Позже Айглер с коллегами построили огромное количество структур, атом за атомом, и исследовали бездну до тех пор не известных физических явлений в этих структурах. Прекрасные изображения из той работы доступны в STM Image Gallery. И начиная с апреля 1990 года для ученых стало обычным делом создавать логотипы институтов и другие картинки с помощью СТМ. Несмотря на то, что это позволяет перемещать атомы для создания любых картинок, важно понять, что это не имеет отношения к промышленности. Так не удастся размещать атомы на больших площадях. Как писал Айглер, это "лабораторный инструмент", а не промышленный, и его значение в том, что мы можем лучше изучить поведение атомов. Более того, добавляет Айглер, манипуляция атомами сегодня столь же захватывающая, как и 20 лет назад".

Вместо заключения

Есть видео о том, как 30 марта 2008 года в музее науки в Бостоне ученый показывает посетителям СТМ. Пока перемещает мышку ноутбука в Бостоне, на экране видна металлическая поверхность в реальном времени в университете Сан-Хосе на другом континенте. Зонд СТМ перемещается, пока не разместится точно над одиночным атомом меди. Зонд снижается, и мы слышим, как атом приклеился к нему. Зонд поднимается, перемещается в другое место, где оставляет атом на новом месте. Новый скан подтверждает, что атом перемещен. Не правда ли, это столь же захватывающе, как исходный эксперимент Айглера-Швайцера?

Когда презентация подходит к концу, лектор предлагает любому желающему попробовать переместить атом, и затем сообщает довольному ребенку: "Ты переместил атом!" Этот ученый - Дон Айглер.



Достоинства недостатков

Nature Nanotechnology 5, 311 (2010), перевод: В.В.Уточникова (аспирант ФНМ МГУ)

Существует множество примеров наноматериалов с практически идеальной структурой, такие как графен, углеродные нанотрубки и монокристаллические нановолокна. Их совершенство - результат множества исследований, так же как и естественная тенденция наномасштабных систем сопротивляться дефектам, - используется во множестве областей, таких как изготовление сенсоров и транзисторов. Однако теперь многие ученые поглощены тем, чтобы создать дефекты в совершенной структуре таких материалов - и не для того, чтобы испортить, а чтобы сделать их еще лучше.

И ничего удивительного. Хотя история использования многих материалов начинается с большого шага в сторону их очистки, вскоре после этого начинаются и шаги по введению примесей. Например, использование кремния в электронике изначально не казалось перспективным, поскольку доступен был только кремний металлургической чистоты, и только спустя несколько лет упорной работы был получен кремний электронной чистоты, что привело к триумфу кремния над его полупроводниковым конкурентом, германием.

Но как только такие примеси, как кислород и углерод, были удалены из кремния, человечество начало вводить другие примеси: фосфор для придания электронной проводимости, бор для дырочной и т.д. и т.п. И пока развивались транзисторы, число таких примесей достигло сотни в одном транзисторе, а важную роль играл уже не только характер примеси, но и ее положение. Введение примесей в устройство превратилось в "инженерную" работу.

Теперь эта область достигла и наноматериалов. Недавно введением примесей был "испорчен" графен. Свойства графена уникальны из-за практически идеальной структуры, по которой электроны могут перемещаться настолько легко, что их эффективная масса практически равна нулю. Это приводит к высокой мобильности электронов и проводимости, а также к новым квантовым эффектам, что чрезвычайно привлекательно для многих областей. Однако тщательное нарушение совершенства его структуры может быть привлекательным, например, для получения электронных ловушек.

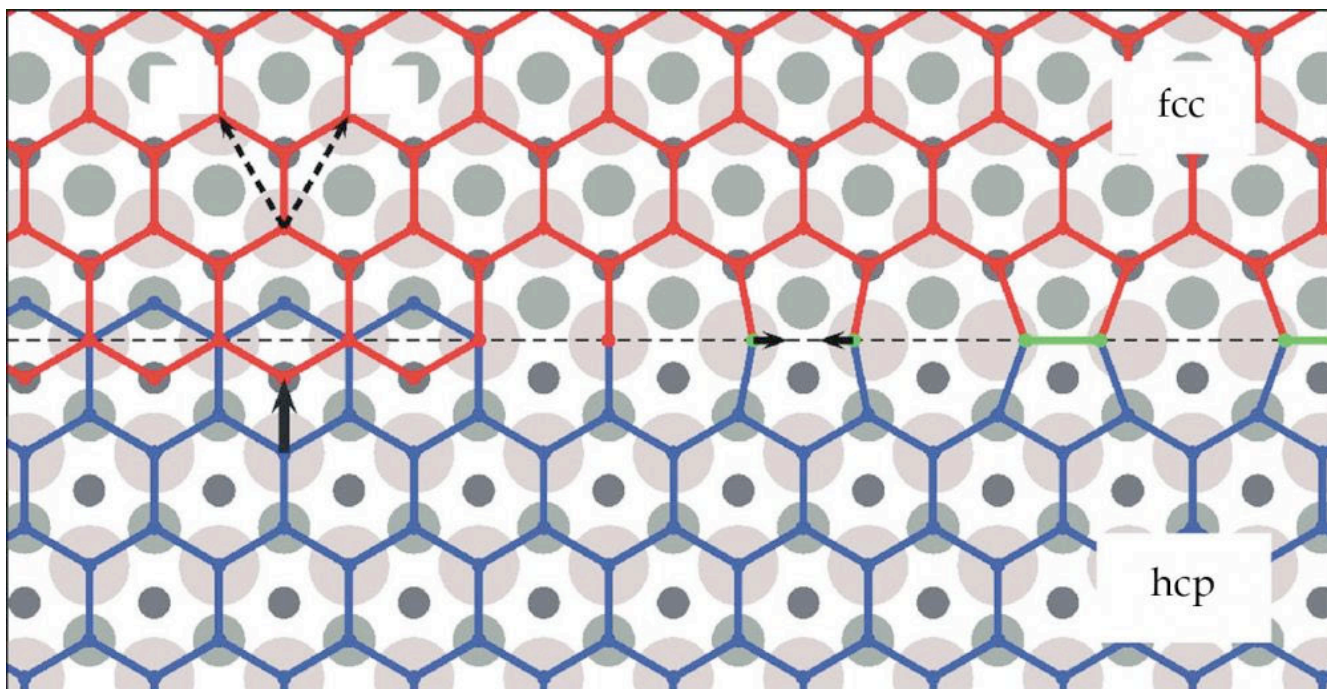
Одним из таких экспериментов было введение в графен линейных дефектов. Они образовывались спонтанно на границах между доменами графена, которые зависят от того, как графен упорядочивается на никелевой подложке, а плотность уровней напоминает таковую в металлических граничных состояниях графеновых хлопьев. Это позволяет рассчитывать на возможность использовать его в качестве металлического волокна. Кроме того, другими учеными было показано, что углерод с внедренными дефектами может обладать магнитными свойствами, что открывает ему применение в спинтронике.

Джеймс Рабо фокусирует свое внимание не на графене, а на алмазе - другой модификации углерода, - а именно на дефектах азот-вакансия, которые образуются при добавлении атома азота рядом с вакансией в решетке алмаза. Еще в 1970-х годах были обнаружены фотолюминесцентные свойства таких центров, однако эмиссия света при комнатной температуре в объемной алмазе была обнаружена только в 1997 году. Рабо с коллегами пошел еще дальше - он наблюдал люминесценцию отдельных центров, находящихся в отдельно расположенных 5-нанометровых наноалмазах, что доказывает, что подобные дефекты можно создать в чрезвычайно маленьких наночастицах.

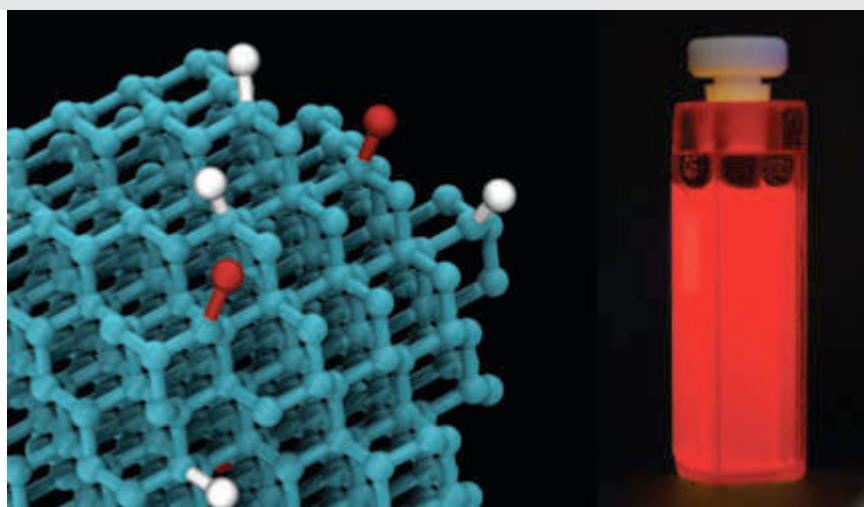
Но не только углеродные материалы волнуют умы ученых. Физики, участвующие в разработке квантовых компьютеров, занялись поиском дефектов, аналогичных дефектам "азот-вакансия" в алмазе. Другая группа ученых показала, что дефекты и недостатки упаковки в нановолокнах InAs,

которые обычно образуются случайно, можно контролировать и создать таким образом сверхрешетку. Также можно и распределять по волокну квантовые точки.

Так что постепенно от химии очистки мы переходим к химии контролируемого загрязнения.



Линейный дефект в графене



Дефекты на границе наноалмаза и люминесценция раствора алмазных наночастиц с дефектами "азот-вакансия"

Нанотрубки для топливных элементов

И.В. Эльманович

В топливном элементе химическая энергия (сгорания) топлива преобразуется электрохимическим путем напрямую в электрическую энергию. Топливо и окислитель при этом непрерывно и раздельно подводятся к ячейке, в которой они реагируют. Основными плюсами топливных элементов являются динамичность отклика, быстрый запуск, относительно малые удельный объем и вес, отсутствие движущихся частей, бесшумность, хорошая способность к перегрузке а так же их экологическая безопасность и сравнительно высокий КПД (рис.1).

На аноде (куда подается, например, водород) идет электрохимическая реакция по окислению водорода, в результате которой протоны идут через мембрану к катоду, а электроды – во внешнюю цепь, создавая электрический ток и совершая полезную работу. На катоде (куда подается кислород) происходит электрохимическая реакция восстановления кислорода до воды. Обе эти "полуреакции" происходят одновременно, обеспечивая протекание выгодной по энергетике суммарной реакции сгорания водорода в кислороде с образованием воды.

Электроды топливных элементов состоят из трех слоев – активного, микропористого и газодиффузионного. В активном слое топливного элемента должна быть обеспечена так называемая трехфазная граница – область эффективного катализа, к которой одновременно должны подводиться реагенты и продукты реакции (протоны и электроны). Активный слой представляет из себя сажу с платиновыми частицами, скрепленную расплавленными частицами ПТФЭ. Для скрепления используется процедура отжига электродов.

Перспективным направлением исследований на данный момент является замена углеродной сажи углеродными нанотрубками, которые также в ряде случаев обладают хорошими проводящими свойствами. В работе [1] было продемонстрировано, что в результате такой замены рабочие характеристики топливного элемента ухудшаются лишь примерно на 10 процентов. Однако толщина мембранно электродного блока, использующего в качестве проводника электронов углеродные нанотрубки, и, соответственно, его масса, уменьшаются на порядки величины, что является чрезвычайно важным для автотранспортных приложений.

Таким образом, в дальнейшем необходимо попытаться оптимизировать дизайн активного слоя топливного элемента с углеродными нанотрубками с целью улучшения его рабочих характеристик.

[1] M. Kaempgen et al., Appl. Phys. Lett. 92, 094103 (2008)

[2] <http://nano-portal.ru/post/5998>

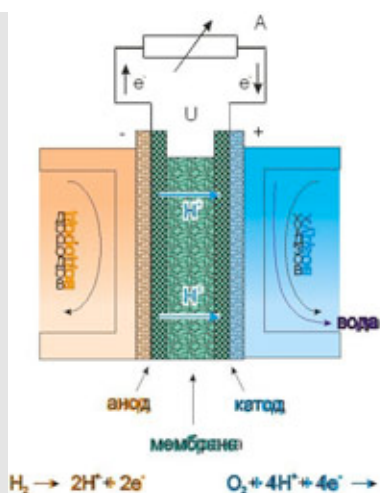
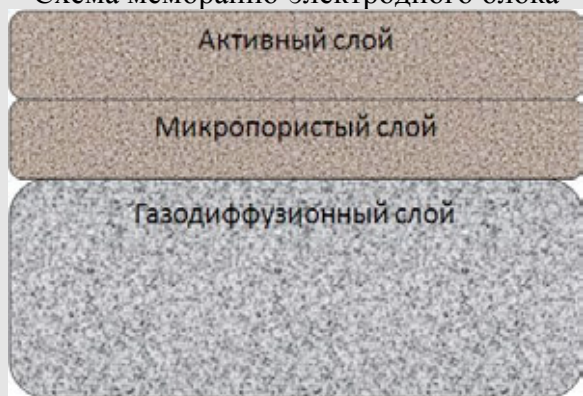
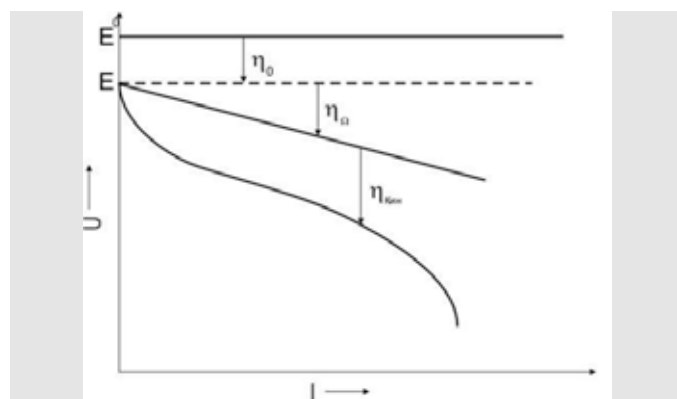


Схема мембранно-электродного блока



Структура электродов топливных элементов



Основной характеристикой работы МЭБ является его вольтамперная характеристика.

Мифы нанотехнологий

Г.В.Эрлих

Генрих Владимирович Эрлих - доктор химических наук, член Редакционно-издательского и Информационного совета Нанотехнологического общества России.

Любой вид человеческой деятельности обрастает мифами. Нанотехнологии, главный научно-технологический проект современности, не исключение. Более того, здесь мифотворчество касается самой сути. Большинство людей, даже принадлежащих к научному сообществу, убеждены, что нанотехнологии — это в первую очередь манипулирование атомами и конструирование объектов посредством сборки из атомов. Это — главный миф.

Научные мифы имеют двоякую природу. Одни порождаются неполнотой нашего знания о природе или недостатком информации. Другие создаются сознательно, с определенной целью. В случае нанотехнологий мы имеем второй вариант. Благодаря э тому мифу и вытекающим из него следствиям удалось привлечь внимание власть имущих и резко ускорить запуск проекта «Нанотехнологии» с автокаталитическим ростом объема инвестиций. В сущности, это было небольшое шулерство, вполне допустимое правилами игры на высшем уровне. Миф сыграл свою благотворную роль инициатора процесса и был благополучно забыт, когда дело дошло собственно до технологий.

Но мифы обладают удивительным свойством: родившись, они начинают жить собственной жизнью, демонстрируя при этом поразительную живучесть и долголетие. Они настолько прочно укореняются в сознании людей, что влияют на восприятие действительности. Реальные нанотехнологические процессы, как зарубежные, так и проекты «Роснано», в корне противоречат мифу, что порождает сумятицу в головах (большинство людей до сих пор не понимает, что такое нанотехнологии), неприятие (это не настоящие нанотехнологии!) и даже отрицание нанотехнологий как таковых.

Помимо главного мифа история нанотехнологий являет нам несколько сопутствующих мифов, которые возбуждающе действуют на разные группы населения, порождая необоснованные надежды у одних и панический страх у других.

Миф об отце-основателе

Самый безобидный в череде мифов – приписывание Ричарду Фейнману, специалисту в области квантовой теории поля и физики элементарных частиц, роли отца-основателя нанотехнологии. Этот миф возник в 1992 году во время выступления пророка нанотехнологии Эрика Дрекслера перед сенатской комиссией на слушаниях на тему «Новые технологии для устойчивого развития». Для продавливания придуманного им нанотехнологического проекта Дрекслер сослался на высказывание нобелевского лауреата по физике, незыблемый авторитет в глазах сенаторов.

К сожалению, Фейнман скончался в 1988 году и поэтому не мог ни подтвердить, ни опровергнуть это высказывание. Но если бы он мог его услышать, то, скорее всего, весело рассмеялся бы. Он был не только выдающимся физиком, но и знаменитым шутником, недаром его автобиографическая книга носила название: «Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман!» Соответственно была воспринята та самая прославленная речь Фейнмана, которую он произнес на предновогоднем ужине Американского общества физики в Калифорнийском технологическом институте. По воспоминаниям одного из участников того собрания американского физика Пола Шликта: «Реакцию зала в общем и целом можно назвать веселой. Большинство подумало, что докладчик валяет дурака».

Но слова: «Известные нам принципы физики не запрещают создавать объекты «атом за атомом». Манипуляция атомами вполне реальна и не нарушает никаких законов природы», – были сказаны, это факт. Остальное представляло собой рассуждения на тему миниатюризации вкупе с

футурологическими прогнозами. По прошествии четверти века некоторые из высказанных Фейнманом идей были «творчески» развиты Эриком Дрекслером и породили главные мифы нанотехнологии. Далее мы будем часто возвращаться к этой речи, чтобы напомнить, что на самом деле говорил Фейнман, а заодно получить удовольствие от четкости и образности формулировок великого ученого.

Миф о безотходной технологии

Создавая объект атом за атомом, мы, очевидно, применяем безотходную технологию. Слово «очевидно» употреблено здесь в самом что ни есть первоначальном смысле – когда люди, в первую очередь чиновники, смотрят на картинки, изображающие процесс манипулирования атомами, они не видят никаких отходов, никаких дымящих труб, загрязняющих атмосферу, и промышленных стоков, загрязняющих водоемы. По умолчанию понятно, что для перетаскивания почти невесомого атома на расстояние в несколько нанометров требуется ничтожное количество энергии. В общем, идеальная технология для «устойчивого развития» — концепции, чрезвычайно популярной в 90-е годы прошлого столетия.

Вопрос, откуда появляются атомы для сборки, почти неприличен. Естественно, со склада, откуда их, наверно, доставляют экологически чистые электрокары. Подавляющая часть населения вообще слабо представляет, откуда что берется. Например, материалы, из которых сделаны различные промышленные товары, которые мы потребляем во все большем количестве. Связь этих товаров с химической промышленностью не просматривается. Химия как наука скучна и не очень нужна, а химическая промышленность как безусловно вредная для окружающей среды подлежит закрытию.

Помимо всего прочего, химическая промышленность, по мнению большинства, хищнически расходует природные ресурсы, используя для своих процессов нефть, газ, руды, минералы. А для новой технологии, как представляют ее приверженцы, нужны лишь атомы: вот в этом отсеке склада у нас хранятся атомы золота, в следующем — атомы железа, потом атомы натрия, атомы хлора, в общем, вся Периодическая система Менделеева. Вынуждены разочаровать авторов этой идиллической картины: атомы сами по себе, за исключением атомов инертных газов, существуют лишь в вакууме, во всех остальных условиях они вступают во взаимодействие с себе подобными или другими атомами, в химическое взаимодействие с образованием химических соединений. Такова природа вещей, и с этим ничего нельзя поделать.

Любая технология требует некоторых приспособлений, средств производства, которые также ускользают от внимания апологетов сборки объектов из атомов. Впрочем, иногда, наоборот, привлекают их внимание и потрясают до глубины души. Действительно, туннельные и силовые микроскопы — это красивейшие устройства, зримое свидетельство мощи человеческого разума. И в целом лаборатории, в которых занимаются манипулированием атомами, являют образ технологий будущего в духе «Третьей волны» Элвина Тоффлера: так называемые чистые комнаты с кондиционированием и специальной очисткой воздуха, устройства, исключаящие малейшую вибрацию, оператор в специальной одежде с университетским дипломом в кармане.

Все это тоже будут безотходно собирать из атомов? Включая фундамент, стены и крышу помещений? Полагаем, что утвердительно ответить на этот вопрос не рискнут даже самые ярые приверженцы этой технологии.

Человечество когда-нибудь создаст безотходные, экологически чистые технологии, но они будут основаны на других принципах или на принципиально другой технике.

Миф о наномашинах

Собственно, изначально речь и шла о другой технике. Идея о том, что для конструирования на наноуровне необходимо иметь манипулятор соответствующего размера, очевидна. Вот как видел реализацию этой идеи Ричард Фейнман:

«Предположим, что я изготовил набор из десяти рук-манипуляторов, уменьшенных в четыре раза, и присоединил их проводами к исходной системе рычагов управления, так что эти манипуляторы одновременно и точно повторяют мои движения. Затем я вновь изготовлю набор из десяти манипуляторов в четверть нормальной величины. Естественно, что первые десять манипуляторов при этом изготовят $10 \times 10 = 100$ штук манипуляторов, уменьшенных, однако, уже в 16 раз...

Ничто не мешает продолжить этот процесс и создать сколько угодно крошечных станков, поскольку это производство не имеет ограничений, связанных с размещением станков и их материалоемкостью... Понятно, что это сразу снимает и проблему стоимости материалов. В принципе мы могли бы организовать миллионы одинаковых миниатюрных заводиков, на которых крошечные станки непрерывно сверлили бы отверстия, штамповали детали и т. п.»

Этот подход — прямолинейная реализация идеи создания миниатюрных устройств. Он, пусть и со многими ограничениями, работает на микроуровне, подтверждением чему служат так называемые микроэлектромеханические устройства. Их используют в системах раскрытия подушек безопасности в автомобилях при авариях, в лазерных и струйных принтерах, в датчиках давления, в бытовых кондиционерах и в индикаторах уровня топлива в бензобаке, в кардиостимуляторах и в джойстиках игровых приставок. Разглядывая их под микроскопом, мы увидим привычные нам шестеренки и валы, цилиндры и поршни, пружины и клапаны, зеркала и микросхемы.

Но нанообъекты обладают свойствами, отличными от свойств макро- и микрообъектов. Если мы найдем способ, как пропорционально уменьшить размер транзисторов с сегодняшних 45—65 нм до 10 нм, то они просто не будут работать, потому что электроны начнут туннелировать через слой изолятора. А соединительные провода истончатся до цепочки атомов, которые и ток будут проводить не так, как массивные образцы, и станут разбредаться в стороны из-за теплового движения или, наоборот, собираться в кучку, забыв о задаче поддержания электрического контакта.

То же относится и к механическим свойствам. При уменьшении размера растет отношение площади поверхности к объему, а чем больше поверхность, тем больше трение. Нанообъекты буквально приклеиваются к другим нанообъектам или к поверхностям, которые для них вследствие их собственной малости кажутся ровными. Это полезное качество для геккона, который легко шагает по вертикальной стене, но крайне вредное для любого устройства, которому надо ехать или скользить по горизонтальной поверхности. Для того чтобы просто сдвинуть его с места, придется затратить непропорционально много энергии.

С другой стороны, мала инерция, движение быстро прекращается. Нетрудно сделать наномаятник — прицепить частицу золота диаметром в несколько нанометров к углеродной нанотрубке диаметром 1 нм и длиной в 100 нм и подвесить его к пластинке кремния. Но этот маятник, если раскачать его в воздухе, почти сразу остановится, потому что даже воздух — существенное препятствие для него.

У нанообъектов, как говорится, высокая парусность, их вообще легко сбить с пути истинного. Многие, наверно, наблюдали в микроскопе броуновское движение — беспорядочные метания мелкой твердой частички в воде. Альберт Эйнштейн еще в 1905 году объяснил причину этого явления: молекулы воды, находящиеся в постоянном тепловом движении, ударяются о поверхность частицы, и нескомпенсированность силы ударов с разных сторон приводит к тому, что частица приобретает импульс в том или ином направлении. Если уж частица размером 1 мкм чувствует силу ударов маленьких молекул и изменяет направление движения, то что говорить о частице размером 10 нм, которая весит в миллион раз меньше и для которой соотношение веса к площади поверхности меньше в 100 раз.

И тем не менее в научной и научно-популярной литературе, особенно в публикациях СМИ, постоянно встречаются описания наноконий различных механических деталей, шестеренок, гаечных ключей, колес, осей и даже редукторов. Предполагается, что из них будут созданы действующие модели наномашин и других устройств. Не надо относиться к этим работам с

излишней серьезностью, осуждая, недоумевая или восхищаясь. «Я лично убежден, что мы, физики, могли бы решать такие задачи просто ради интереса или забавы», — сказал Ричард Фейнман. Физики шутят...

На самом деле они полностью отдают себе отчет в том, что для создания наномеханических или наноэлектромеханических устройств необходимо использовать конструкционные подходы, отличные от макро- и микроаналогов. И здесь для начала даже изобретать ничего не надо, потому что природа за миллиарды лет эволюции создала столько различных молекулярных машин, что нам всем десяти лет не хватит, чтобы в них разобраться, скопировать, приспособить для своих нужд и попытаться что-то улучшить.

Наиболее известный пример природного молекулярного мотора – так называемый флагеллярный мотор бактерий, о котором «Химия и жизнь» уже писала (см. статью «Молекулярные машины», «Химия и жизнь», 2010 , № 2). Другие биологические машины обеспечивают сокращение мышц, биение сердца, транспорт питательных веществ и перенос ионов через клеточную мембрану. КПД молекулярных машин, превращающих химическую энергию в механическую работу, во многих случаях близок к 100%. При этом они чрезвычайно экономичны, например на работу электромоторов, обеспечивающих движение бактерии, затрачивается менее 1% энергетических ресурсов клетки.

Мне представляется, что описанный биомиметический (от латинских слов «биос» – жизнь и «миметис» – подражание) подход – наиболее реалистичный путь создания наномеханических устройств и одна из тех областей, где содружество физиков и биологов на ниве нанотехнологий может принести ощутимые результаты.

Миф о нанороботах

Предположим, что мы создали на бумаге или на экране компьютера эскиз наноустройства. Как бы его собрать, и желательно не в одном экземпляре? Можно, следуя Фейнману, создать «крошечные станки, которые непрерывно сверлили бы отверстия, штамповали детали и т. п.» и миниатюрные манипуляторы для сборки готового изделия. Эти манипуляторы должны управляться человеком, то есть иметь некую макроскопическую оснастку или, по крайней мере, действовать согласно заданной человеком программе. Кроме того, необходимо как-то наблюдать за всем процессом, например, с помощью электронного микроскопа, также имеющего макроразмеры.

Альтернативную идею выдвинул в 1986 году американский инженер Эрик Дрекслер в футурологическом бестселлере «Машины созидания». Выросший, как все люди его поколения, на книгах Айзека Азимова, он предложил использовать для производства наноустройств механические машины соответствующих (100—200 нм) размеров — нанороботы. Речь уже не шла о сверлении и штамповке, эти роботы должны были собирать устройство непосредственно из атомов, поэтому они были названы ассемблерами — сборщиками. Но подход оставался чисто механическим: сборщик был оснащен манипуляторами длиной в несколько десятков нанометров, двигателем для перемещения манипуляторов и самого робота, включая упомянутые ранее редукторы и передачи, а также автономным источником энергии. На круг выходило, что наноробот должен состоять из нескольких десятков тысяч деталей, а каждая деталь — из одной-двух сотен атомов.

Проблема визуализации атомов и молекул как-то незаметно растворилась, казалось вполне естественным, что наноробот, оперирующий объектами сопоставимых с ним размеров, «видит» их, как человек видит гвоздь и молоток, которым он забивает этот гвоздь в стену.

Важнейшим узлом наноробота был, конечно, бортовой компьютер, который управлял работой всех механизмов, определял, какой атом или какую молекулу следовало захватить манипулятором и в какое место будущего устройства их поставить. Линейные размеры этого компьютера не должны были превышать 40—50 нм — это как раз размер одного транзистора, достигнутый

промышленной технологией нашего времени, через 25 лет после написания Дрекслером книги «Машины созидания».

Но ведь Дрекслер и адресовал свою книгу в будущее, в далекое будущее. На момент написания книги ученые еще не подтвердили даже принципиальную возможность манипулирования отдельными атомами, не говоря о сборке из них хоть каких-нибудь конструкций. Это случилось лишь через четыре года. Устройство, использованное для этого впервые и используемое до сих пор — туннельный микроскоп, — имеет вполне осязаемые размеры, десятки сантиметров в каждом измерении, и управляется человеком с помощью мощного компьютера с миллиардами транзисторов.

Но мечта-идея о нанороботах, собирающих материалы и устройства из отдельных атомов, была настолько красивой и заманчивой, что это открытие лишь придало ей убедительности. Не прошло и нескольких лет, как в нее уверовали далекие от науки сенаторы США, журналисты, а с их подачи — общественность и, что совсем удивительно, сам автор, который продолжал отстаивать ее даже тогда, когда ему доходчиво объяснили, что идея нереализуема в принципе. Аргументов против таких механических устройств множество, приведем лишь самый простой, выдвинутый Ричардом Смолли: манипулятор, «захвативший» атом, соединится с ним навеки вследствие химического взаимодействия. Смолли был лауреатом Нобелевской премии по химии, в этом, наверно, было дело.

Но идея продолжала жить своей жизнью и дожила до наших дней, заметно усложнившись и дополнившись различными приложениями.

Миф о медицинских нанороботах

Наиболее популярен миф о миллионах нанороботов, которые будут шнырять по нашему организму, диагностировать состояние различных клеток и тканей, ремонтировать поломки с помощью наноскальпеля, рассекать и демонтировать раковые клетки, наращивать костную ткань сборкой из атомов, соскребать холестериновые бляшки с помощью нанолопатки, а в мозгу избирательно разрывать синапсы, ответственные за неприятные воспоминания. И еще докладывать о проделанной работе, передавая через наноантенну сообщения вроде: «Алекс — Юстасу. Выявлено повреждение митрального клапана. Поломка устранена». Именно последнее вызывает серьезную озабоченность общественности, ведь это разглашение частной информации — сообщение наноробота может быть получено и расшифровано не только врачом, но и посторонним. Эта обеспокоенность подтверждает, что во все остальное люди верят безоговорочно. Как и в нанороботов-шпионов, в «умную пыль», которая будет проникать в наши квартиры, наблюдать за нами, подслушивать наши разговоры и опять же передавать полученные видео- и аудиоматериалы посредством нанопередатчика с наноантенной. Или в нанороботов-убийц, поражающих людей и технику с помощью нанозарядов, возможно, даже ядерных.

Самое удивительное, что почти все описанное может быть создано (а что-то уже создано). И инвазивные диагностические системы, сообщающие о состоянии организма, и лекарственные средства, действующие на определенные клетки, и системы, очищающие наши сосуды от атеросклеротических бляшек, и наращивание костной ткани, и стирание воспоминаний, и невидимые системы дистанционного слежения, и «умная пыль».

Однако все эти системы настоящего и будущего не имеют и не будут иметь никакого отношения к механическим нанороботам в духе Дрекслера, за исключением размера. Они будут созданы совместными усилиями физиков, химиков и биологов, ученых, работающих на уровне синтетической науки, называемой нанотехнологиями.

Миф о физическом методе синтеза веществ

В своей лекции Ричард Фейнман невольно выдал тайную вековечную мечту физиков: «И наконец, размышляя в этом направлении (возможности манипулирования атомами. — Г.Э.), мы доходим до

проблем химического синтеза. Химики будут приходить к нам, физикам, с конкретными заказами: «Слушай, друг, не сделаешь ли ты молекулу с таким-то и таким-то распределением атомов?» Сами химики используют для приготовления молекул сложные и даже таинственные операции и приемы. Обычно для синтеза намеченной молекулы им приходится довольно долго смешивать, взбалтывать и обрабатывать различные вещества. Как только физики создают устройство, способное оперировать отдельными атомами, вся эта деятельность станет ненужной... Химики будут заказывать синтез, а физики — просто «укладывать» атомы в нужном порядке».

Химики не синтезируют молекулу, химики получают вещество. Вещество, его получение и превращения — предмет химии, по сей день загадочный для физиков.

Молекула – это группа атомов, не просто уложенных в нужном порядке, но еще и соединенных химическими связями. Прозрачная жидкость, в которой на два атома водорода приходится один атом кислорода, может быть водой, а может быть и смесью жидких водорода и кислорода (внимание: не смешивать в домашних условиях!).

Предположим, что нам каким-то образом удалось сложить кучку из восьми атомов — двух атомов углерода и шести атомов водорода, изображенную на рисунке. Физик эту кучку представится, наверное, молекулой этана C_2H_6 , но химик укажет еще как минимум две возможности соединения атомов.

Пусть мы хотим получить этан методом сборки из атомов. Как это можно сделать? С чего начинать: сдвинуть два атома углерода или приставить атом водорода к атому углерода? Вопрос на засыпку, в том числе и для автора. Проблема в том, что ученые пока научились манипулировать атомами, во-первых, тяжелыми, а во-вторых, не очень ре-акционноспособными. Довольно сложные конструкции собраны из атомов ксенона, золота, железа. Как оперировать легкими и чрезвычайно активными атомами водорода, углерода, азота и кислорода, не совсем понятно. Так что с поатомной сборкой белков и нуклеиновых кислот, о которой некоторые авторы говорят как о деле практически решенном, придется повременить.

Есть еще одно обстоятельство, существенно ограничивающее перспективы «физического» метода синтеза. Как уже было сказано, химики не синтезируют молекулу, а получают вещество. Вещество состоит из огромного числа молекул. В 1 мл воды содержится $\sim 3 \times 10^{22}$ молекул воды. Возьмем более привычный для нанотехнологий объект — золото. В кубике золота объемом 1 см^3 содержится $\sim 6 \times 10^{22}$ атомов золота. Сколько времени потребуется, чтобы собрать такой кубик из атомов?

Работа на атомно-силовом или туннельном микроскопе по сей день сродни искусству, недаром для нее требуется специальное и очень хорошее образование. Работа ручная: зацепи атом, перетащи на нужное место, оцени промежуточный результат. По скорости приблизительно как кирпичная кладка. Чтобы не пугать читателя немислимыми числами, предположим, что мы нашли способ как-то механизировать и интенсифицировать процесс и можем укладывать по миллиону атомов в секунду. В этом случае на сборку кубика объемом 1 см^3 мы затратим два миллиарда лет, примерно столько же, сколько потребовалось природе, чтобы методом проб и ошибок создать весь живой мир и нас самих как венец эволюции.

Именно поэтому Фейнман говорил о миллионах «заводиков», не оценивая, впрочем, их возможную производительность. Именно поэтому даже миллион нанороботов, снующих внутри нас, не решат проблемы, потому что нам не хватает жизни, чтобы дождаться результата их трудов. Именно поэтому Ричард Смолли настоятельно призывал Эрика Дрекслера исключить из публичных выступлений всякое упоминание о «машинах созидания», дабы не вводить общественность в заблуждение этой антинаучной чушью.

Так что же, на этом методе получения веществ, материалов и устройств можно ставить крест? Нет, отнюдь.

Во-первых, с помощью той же самой техники можно манипулировать не атомами, а существенно более крупными строительными блоками, например углеродными нанотрубками. При этом снимаются проблемы легких и реакционноспособных атомов, а производительность автоматически возрастет на два-три порядка. Это, конечно, еще слишком мало для настоящей технологии, но таким методом уже сейчас ученые получают в лабораториях единичные экземпляры простейших наноустройств.

Во-вторых, можно придумать множество ситуаций, когда внесение атома, наночастицы или даже просто физическое воздействие иглы туннельного микроскопа инициирует процесс самоорганизации, физических или химических превращений в среде. Например — цепной реакции полимеризации в тонкой пленке органического вещества, изменения кристаллической структуры неорганического вещества или конформации биополимера в определенной окрестности точки воздействия. Высокоточное сканирование поверхности и многократное воздействие позволят создать протяженные объекты, характеризующиеся регулярной наноструктурой.

И наконец, этим способом могут быть получены уникальные образцы — шаблоны для дальнейшего размножения другими методами. Скажем, шестиугольник из атомов металла или единичная молекула. Но как размножить единичную молекулу? Невозможно, скажете вы, это какая-то ненаучная фантастика. Почему же? Природа прекрасно умеет создавать множественные, абсолютно идентичные копии как отдельных молекул, так и целых организмов. В обиходе это называется клонированием. О полимеразной цепной реакции слышали даже люди, далекие от науки, но хотя бы раз посетившие современную медицинскую диагностическую лабораторию. Эта реакция позволяет размножить единственный фрагмент молекулы ДНК, извлеченный из биологического материала или синтезированный искусственно химическим путем. Для этого ученые используют «молекулярные машины», созданные природой, — белки и ферменты. Почему мы не можем сделать аналогичные машины для клонирования других молекул, не только олигонуклеотидов?

Рискну немного перефразировать Ричарда Фейнмана: «Известные нам принципы химии не запрещают клонировать единичные молекулы. «Размножение» молекул по образцу вполне реально и не нарушает никаких законов природы».

Миф о "серой слизи"

Элементарное соображение о чрезвычайно низкой (по массе) производительности на-нороботов, естественно, не прошло мимо внимания Эрика Дрекслера. В мире «машин созидания» были и другие проблемы, которые мы за недостатком места не обсуждали подробно, например контроль качества, освоение выпуска новой продукции и источники сырья, откуда и как появляются атомы на «складе». Для решения этих проблем Дрекслер ввел в концепцию еще два типа устройств.

Первый — разборщики, антиподы сборщиков. Разборщик, в частности, должен изучать строение нового объекта, записывая в память нанокomпьютера его поатомную структуру. Не устройство, а мечта, мечта химиков! Несмотря на все достижения современной исследовательской техники, мы не «видим» все атомы, например, в белке. Установить точную структуру молекулы возможно только в том случае, если она вместе с миллионами других таких же молекул образует кристалл. Тогда, используя метод рентгеноструктурного анализа, мы можем определить точное, до тысячных долей нанометра, расположение всех атомов в пространстве. Это длительная, трудоемкая процедура, требующая громоздкого и дорогого оборудования.

Второй тип устройств — созидатели, или репликаторы. Их основные задачи — поточное производство сборщиков и сборка себе подобных репликаторов, то есть размножение. По замыслу их создателя, репликаторы — намного более сложные устройства, чем простые сборщики, они должны состоять из сотни миллионов атомов (на два порядка меньше, чем в молекуле ДНК) и соответственно иметь размер порядка 1000 нм. Если продолжительность их репликации будет измеряться минутами, то, размножаясь в геометрической прогрессии, они за сутки создадут

триллионы репликаторов, те произведут квадрильоны специализированных сборщиков, которые приступят к сборке макрообъектов, домов или ракет.

Легко представить ситуацию, когда функционирование системы перейдет в режим производства ради производства, безудержного накопления средств производства — самих нанороботов, когда вся их деятельность сведется к увеличению собственной популяции. Такой вот бунт машин эпохи нанотехнологий. Для собственного строительства нанороботы могут получить атомы только из окружающей среды, поэтому разборщики начнут разбирать на атомы все, что попадется под их цепкие манипуляторы. В результате по прошествии какого-то времени вся материя и, что самое обидное для нас, биомасса превратятся в скопище нанороботов, в «серую слизь», как образно назвал ее Эрик Дрекслер.

Каждая новая технология порождает сценарии неотвратимого конца света, обусловленные ее внедрением и распространением. Миф о серой слизи — лишь исторически первый такой сценарий, связанный с нанотехнологиями. Но очень образный, поэтому его так любят журналисты и кинематографисты.

К счастью, такой сценарий невозможен. Если, несмотря на все сказанное выше, вы еще верите в возможность сборки чего-либо существенного из атомов, задумайтесь над двумя обстоятельствами. Во-первых, у описанных Дрекслером репликаторов не хватает сложности для создания себе подобных устройств. Ста миллионов атомов мало даже для создания управляющего процессом сборки компьютера, даже для памяти. Если предположить недостижимое — что каждый атом несет один бит информации, то объем этой памяти будет 12,5 мегабайт, а этого слишком мало. Во-вторых, у репликаторов возникнут проблемы с сырьем. Элементный состав электромеханических устройств принципиально отличается от состава объектов окружающей среды и в первую очередь от биомассы. Поиск, извлечение и доставка атомов необходимых элементов, требующие огромных затрат времени и энергии, — вот что будет определять скорость воспроизводства. Если спроецировать ситуацию на макроразмер, то это то же самое, что собирать станок из материалов, которые необходимо найти, добыть, а потом доставить с различных планет Солнечной системы. Недосток жизненных ресурсов ставит предел безудержному распространению любых популяций, куда более приспособленных и совершенных, чем мифические нанороботы.

Заключение

Перечень мифов можно продолжить. Миф о нанотехнологиях как локомотиве экономики достоин отдельной статьи. Ранее в статье «Нанотехнологий как национальная идея» (см. «Химию и жизнь», 2008, № 3) мы старались развеять миф о том, что «Национальная нанотехнологическая инициатива» США — это сугубо технологический проект.

Мифом является и каноническая история нанотехнологий, ключевым событием которой считается изобретение туннельного электронного микроскопа. Последнее легко объяснимо. «Историю пишут победители», а глобальный проект под названием «Нанотехнологии», в значительной мере определяющий лицо (и финансирование) современной науки, пробили физики. За что мы все, исследователи, работающие в этой и смежной областях, выражаем физикам свою бесконечную признательность.

Мифы сыграли свою положительную роль, они породили энтузиазм и привлекли внимание политической и экономической элиты, а также общественности к нанотехнологиям. Однако на этапе практической реализации нанотехнологий пора забыть об этих мифах и перестать повторять их из статьи в статью, из книги в книгу. Ведь мифы тормозят развитие, задают неверные ориентиры и цели, порождают непонимание и страхи. И наконец, необходимо написать новую историю нанотехнологий — новой науки XXI века, области естествознания, объединяющей физику, химию и биологию.

Квантовые точки: маленькие, да удаленькие

В.В.Уточникова

В.В.Уточникова – аспирант ФНМ МГУ

В статье использованы материалы: Nature Nanotechnology, Статья ди Франчески, Статья Константатоса и Сарджента

По ряду причин полупроводниковые квантовые точки не так явно представлены в истории нанотехнологий, во всяком случае, по сравнению с сканирующей туннельной микроскопией, молекулярно-лучевой эпитаксией или углеродными нанотрубками. Однако развитие квантовых точек происходит по крайней мере не меньшее время, чем каждого из этих гигантов нанотехнологий, и является целью такого же количества исследований. И хотя в них, возможно, отсутствует природная эстетическая геометрия, найденная в нанотрубках (и фуллеренах, и графен), сам факт того, что квантовые точки могут быть получены из различных элементов и приобретать различные формы и размеры, во многих случаях дает им преимущество над узкопрофильными углеродными материалами. Это отражается в числе фундаментальных исследований, которые можно выполнить с помощью квантовых точек, ширине потенциальных применений этих материалов - и, конечно, в патентных спорах.

Обобщая, можно выделить две группы квантовых точек: химики предпочитают "мокрые" методы для получения относительно больших объемов коллоидных квантовых точек, которые обычно пассивируются органическими молекулами на поверхности. Физики же предпочитают работать с эпитаксиальными квантовыми точками или самоупорядоченными КТ на подложке. Также можно получить квантовую точку, поймав отдельную молекулу или наночастицу между двумя электродами, присоединяя электроды к нанотрубке или графену или изменяя уровень легирования монокристалла полупроводника. Еще большего разнообразия можно достигнуть за счет того, что, например, заключенная между электродами наночастица может быть металлической, ферромагнитной или сверхпроводящей.

Важные характеристики квантовых точек включают то, что уровни энергии, занимаемые носителями заряда, квантуются, подобно тому как происходит в молекулах и атомах, а расстояние между валентной зоной и зоной проводимости растет с уменьшением их размера, что уменьшает длину волны их люминесценции. Электрон-электронные взаимодействия также усиливаются, начинают наблюдаться одноэлектронные эффекты, такие как кулоновская блокада, и меняются химические свойства, такие как окислительно-восстановительный потенциал.

Изучение коллоидных квантовых точек началось в начале 1980-х годов, а Луи Брю (тогда сотрудник лаборатории Белла, а сейчас - университета Колумбии) даже был награжден первой Премией Кавли в области нанотехнологий в 2008 году за свои пионерские исследования в этой области. Они в течение многих лет широко использовались в биомедицинских приложениях, и недавно исследователи открыли метод "включения-выключения" люминесценции квантовых точек. Позже оптические свойства квантовых точек для улучшения эффективности светодиодов получения более естественно света, и были исследованы возможности их применения в камерах, дисплеях и для солнечной энергетики. Основной задачей для всех компаний, имеющих дело с коллоидными квантовыми точками, является отказ от токсичных материалов, таких как кадмий.

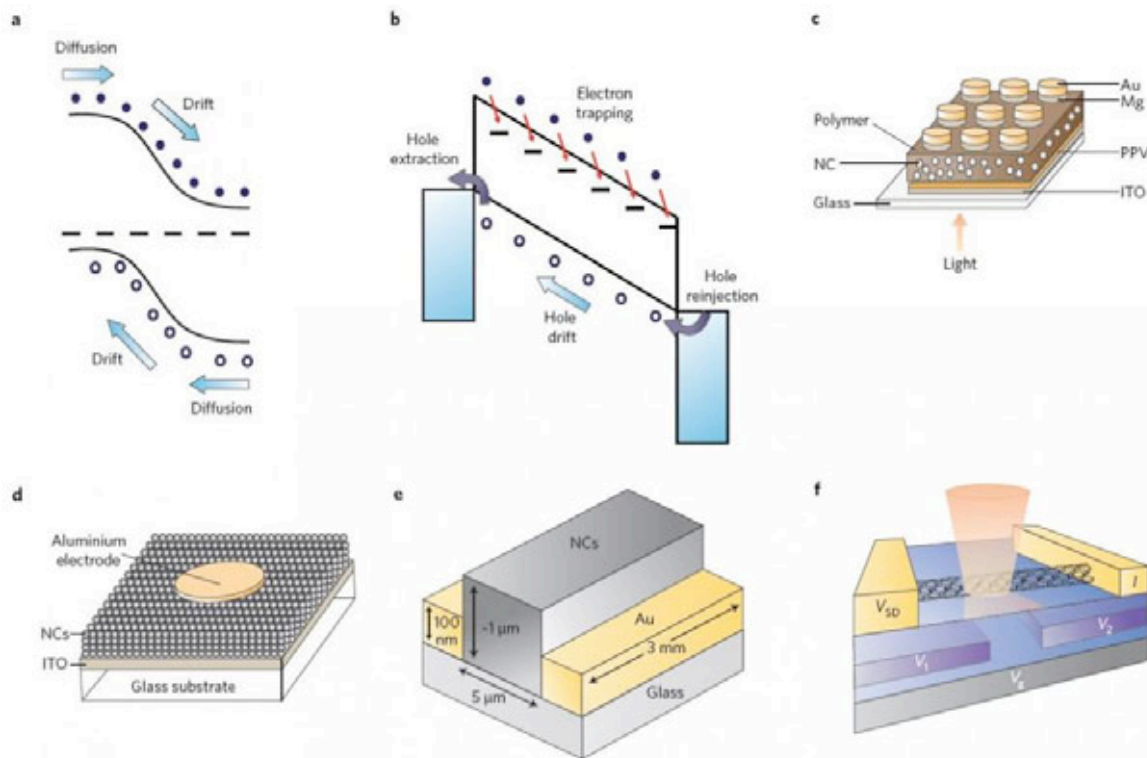
Исследования в области эпитаксиальных квантовых точек явился действительно прорывом, который начался с изучения двумерных электронных газов в многослойных полупроводниковых устройствах, а затем продолжился экспериментами по квантовым нанопроволокам, и наконец в конце 1980-х годов завершился нульмерными структурами. Сам термин "квантовая точка" принадлежит Марку Риду, который ввел его в своей публикации в 1988 году.

Исследования в этой области активно продолжаются до сих пор. Так, Герасимос Константатос и Эдвард Сарджент используют коллоидные квантовые точки и металлические наночастицы для

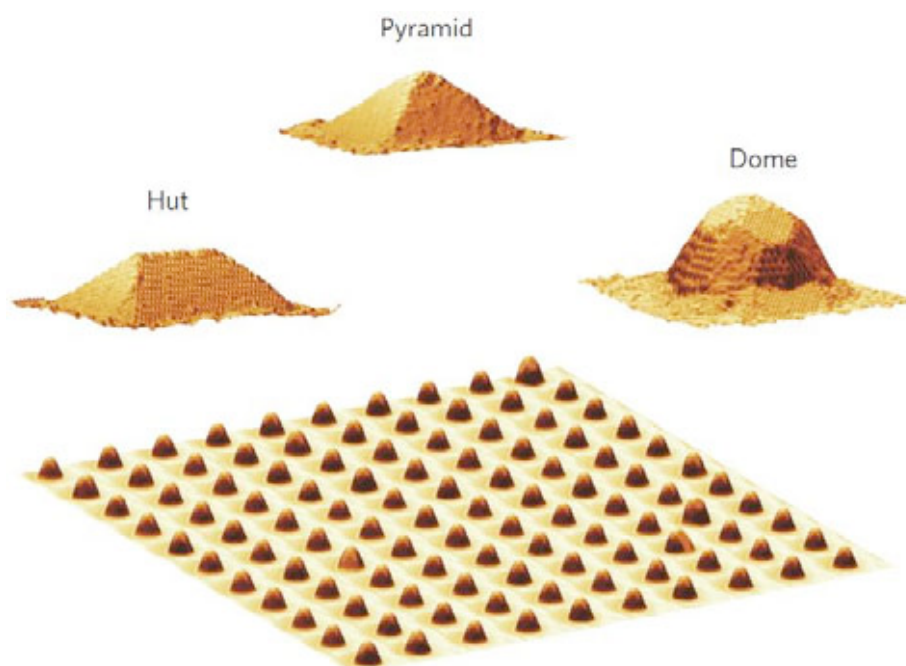
детектирования фотонов (Рис. 1). Создание конкурентоспособных детекторов включает оптимизацию такого ряда факторов, как поглощение, время отклика и уровень шума.

Сильвано ди Франчези с сотрудниками проводят эксперименты по самосборке кремний-германиевых квантовых точек на подложке из кремния (Рис. 2), поскольку для создания новых устройств для применений в электронике и спинтронике необходимо лучшее понимание поведения носителей заряда (в данном случае дырок) в таких квантовых структурах. Создание однофотонных излучателей является еще одной интенсивно развивающейся областью.

Но вне зависимости от того, как или для чего они получены, у квантовых точек в нанoeлектронике явно более яркое будущее, чем было прошлое.



Фотодиоды и фотопроводники: механизмы разделения зарядов и структуры и конфигурации устройств.



Структура и характер роста самоупорядоченных нанокристаллов SiGe.

Назад в будущее

Ch. Adachi, В.В. Уточникова

Статья основана на лекции, прочитанной проф. Ч. Адачи на летней школе по органической оптоэлектронике в г. Крутине, Польша, в 2010 году.

Сегодня уже все наверняка понимают процесс преобразования электрического тока в свет. Однако детали гораздо сложнее, и потому, прежде чем перейти к новейшим достижениям мировой ОСИД-науки, попробуем напомнить их еще раз. Итак, прежде всего, когда носителя заряда разного знака встречаются в эмиссионном слое, должно произойти образование возбужденного состояния - экситона. После этого экситон попадает на один из уровней – триплетный или синглетный – и происходит рекомбинация, которая, в зависимости от возможностей материала, может быть излучательной и безызлучательной. Важно понимать, что даже в случае образования фотона он выйдет на поверхность не наверняка, а с определенной долей вероятности, пока равной 20%: показатели преломления различных слоев на пути фотона возвращают около 80% фотонов обратно, не давая им выйти наружу (РИС. 1). Однако пока одни ученые пытаются найти замену стеклу и ИТО {проводящий слой оксида индия, легированного диоксидом олова - Прим. ред.}, другие все-таки пытаются разобраться в механизме формирования экситона и люминесценции, чтобы повысить итоговую эффективность работы устройства за их счет.

Мы уже писали, что в случае, когда люминесценция может происходить только за счет синглетного уровня {уровня, при заполнении которого многоэлектронная система находится в состоянии с "нулевой мультиплетностью" - Прим. ред.}, суммарная эффективность формирования экситона и люминесценции не превосходит 25% (РИС. 2), тогда как в случае люминесценции триплетного уровня она вполне может достигать 75% (РИС. 3). Дело в том, что по статистике на синглетный уровень попадает только 25% всего возбуждения {образное выражение - Прим. ред.}, тогда как остальные 75% достаются триплетному уровню. Кроме того, открыв возможность переноса энергии с синглета на триплет (ISC), ученые смогли **бы** {частица "бы" добавлена редактором} поднять эффективность люминесценции фосфоров даже до 100% {проблема в том, что при этом, очевидно, изменяется спиновое состояние, то есть "не сохраняется спин", поэтому такой переход, вообще говоря, как таковой запрещен - Прим. ред.}! С этим и связано то, что ученые стараются работать с материалами, люминесцирующими за счет триплетного уровня (фосфорами), а флуорофорам прочат скорую потерю позиций.

Сегодня общая картина {надо бы добавить "функционирования" или что -нибудь еще - Прим. ред.} люминофоров выглядит так, как представлено на РИС. 4. Однако видно, что кроме преимуществ - высокой эффективности люминесценции и узкой полуширины пиков люминесценции, - у фосфоров полно недостатков: высокая вероятность аннигиляции экситона и трудоемкость синтеза, что в первую очередь касается комплексов благородных металлов, которые, конечно же, еще и дороги. Так нельзя ли использовать дешевые флуорофоры, каким-то образом "обманув" физику и подняв эффективность их свечения?

И А. Эндо и Ч. Адачи нашли решение. Раз эффективность свечения фосфоров можно поднять выше 75% с помощью переноса энергии, нельзя ли организовать обратный перенос с триплетного на синглет {очевидно, не непосредственно, поскольку не будет сохраняться спин - Прим. ред.} с тем, чтобы в итоге все 100% возбуждения высветилось, пусть и с синглетного уровня (РИС. 5)? Этого никто раньше не наблюдал, поскольку триплетный уровень находится ниже по энергии, и перенос энергии на него затруднен {разумеется, совсем не потому, что он находится ниже по энергии, а потому что изменяется мультиплетность системы - Прим. ред.}, но что если разница в энергиях сопоставима с kT и может быть преодолена за счет тепловой энергии? {а вот это уже понятно - это не будет "прямым" переходом с изменением мультиплетности, что очень нехорошо :-)} - Прим. ред.}

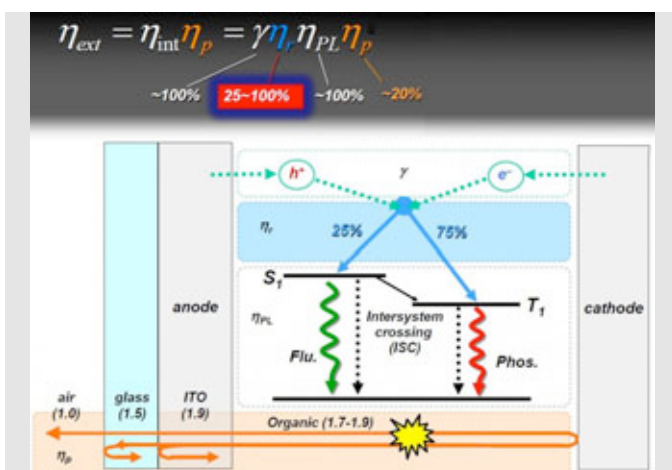
Уже первые эксперименты показали наличие эффекта термически активированной флуоресценции, TADF, в комплексе олова $\text{SnF}_2(\text{OEP})$ (РИС. 6). Отличительной особенностью

эффекта является очевидное возрастание эффективности люминесценции с ростом температуры – тогда как эффективность фосфоресценции с температурой падает, а флуоресценции – постоянна или падает. Исходя из этого удастся разделить различные вклады в люминесценции SnF₂(OEP), и видно, что при комнатной температуре TADF дает основной вклад, а выше 400К – практически единственный.

Эффект обратного переноса энергии ученые назвали reversed inter-system crossing, или RISC, и он начинает играть роль при DE~0.4 эВ {видимо, это величина разности энергий - Прим. ред.}. Однако, чем меньше этот зазор, тем эффективнее такой перенос, и его уменьшение стало первой задачей ученых. И для ее решения была предложена система из двух органических молекул PIC-TRZ:m-CP {отличные молекулы, жаль, что вне рамок номенклатуры - Прим. ред.}. Прямой перенос энергии в этой системе составляет 90%, а обратный – 29%, итого, с учетом эффективности флуоресценции – 10% - суммарная эффективность люминесценции достигла уже 39%! Немыслимый результат для флуорофоров с пределом в 25%! {вообще невысказанный результат, если не дать в комментариях более подробных объяснений! - Прим. ред.}

При изготовлении ОСИД внутренняя эффективность упала несильно, и в результате внешняя – с учетом потерь на границах слоев – составила 6.8%, что на 30% выше теоретического предела! {видимо, на 30% от величины 6.7% - Прим. ред.}

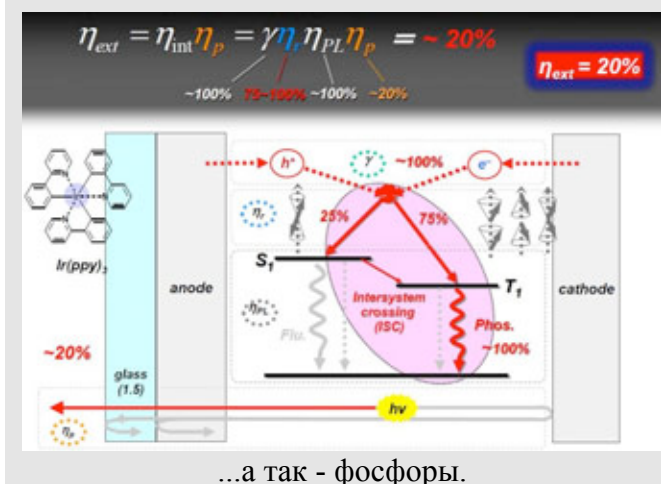
Однако мечта ученых – материал без «запрещенной зоны» со 100% как ISC, так и RISC. Если ее удастся воплотить, дорогие иридиевые комплексы могут стать ненужными



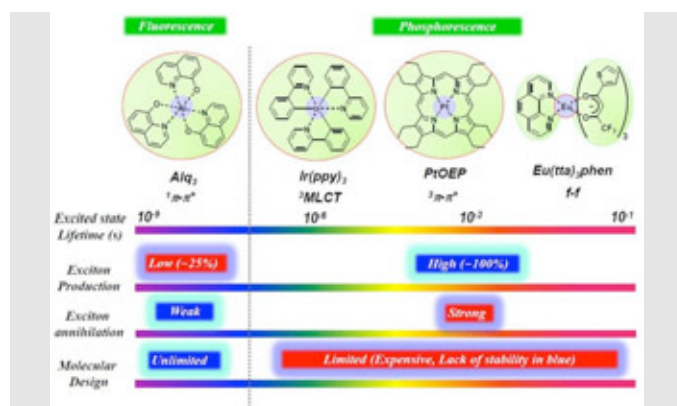
Образование экситона и выход фотона из структуры в ОСИД



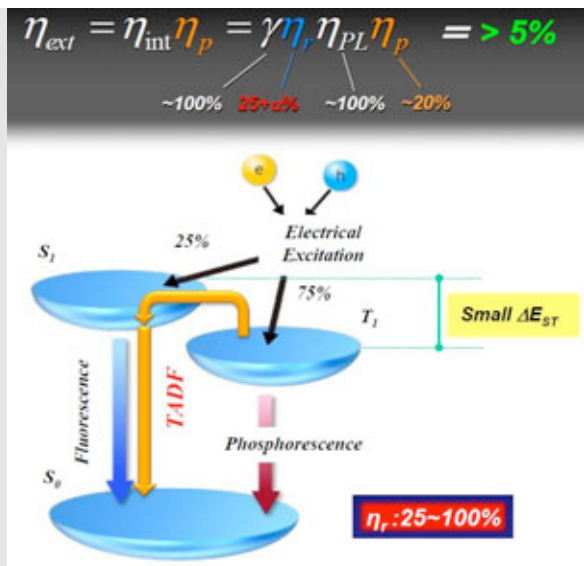
Вот так это делают флуорофоры...



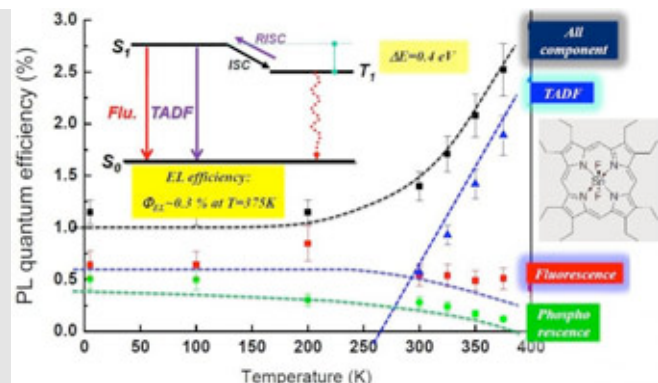
...а так - фосфоры.



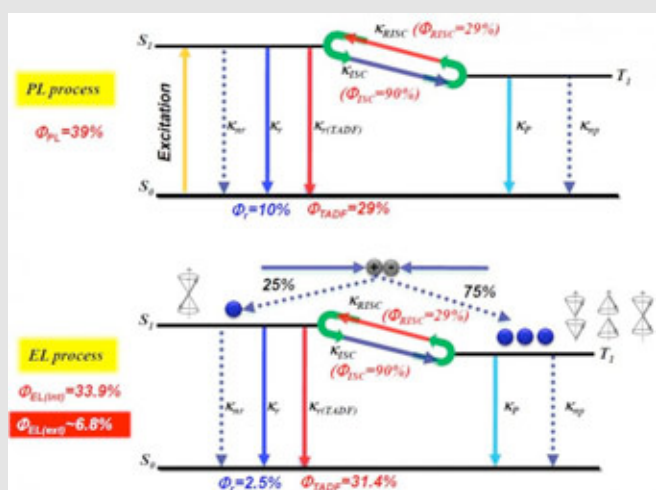
Классы соединений, используемых как эмиссионные слои в ОСИД.



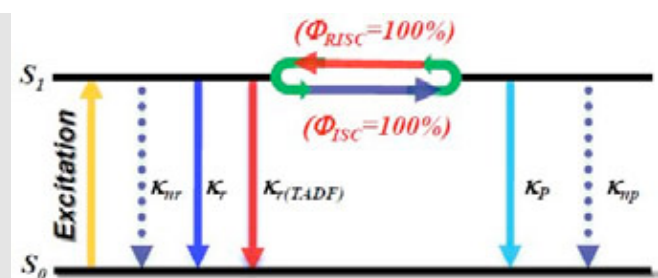
Основы эффекта термоактивированной флуоресценции (TADF)



Первое наблюдение эффекта на комплексе олова



ОСИД на материале с TADF



Мечта открывателей TADF - нулевая разница энергий.

Инструкция по получению белого светодиода

J. Kido, В.В. Уточникова

Пятнадцать лет назад вышла первая статья проф. Кидо в журнале Science, а также о проф. Кидо - в Wall Street Journal, - посвященная созданию первого белого светодиода. Но то, что казалось раньше вовсе невозможным, сразу привлекло внимание инвесторов, которые тут же потребовали улучшения показателей: с имевшихся <1 lm/W и продолжительностью службы менее суток до не менее 15 lm/W и 3000 часов. Но и эти требования были лишь промежуточными: чтобы выйти на рынок, требовались эффективность 100 lm/W, время жизни 30000 часов и светимость 5000 cd/m². 15 лет прошло прежде, чем было создано такое устройство - постепенно, но уверенно.

Вот основные 4 проблемы, которые пришлось решать ученым:

- Как добиться белого света?
- Как снизить необходимое напряжение?
- Как улучшить квантовую эффективность?
- Как увеличить время службы?

И ответы на эти четыре "Как?" дал проф. Кидо.

- Как добиться белого света?

Для начала нужно было получить чистый белый цвет. Для этого нужно либо соединить 3 базовых цвета (треугольник на Рис. 3), либо 2 комплементарных (отрезок). И первый вариант, предложенный учеными, представлен на Рис. 4. Подбор материалов обусловлен не только цветом люминесценции, но и соотношением энергетических уровней, чтобы добиться более эффективной инжекции носителей заряда в слой. Спектр предложенного устройства показан на Рис. 6. Но если использовать большие концентрации люминофоров, произойдет передача энергии с синего через зеленый на красный, и в итоге синего свечения практически не будет! Поэтому важной задачей является подбор концентраций люминофоров, что в итоге приводит к спектру, уже неплохо похожему на солнечный (рис. 8).

Еще один прием, позволяющий устройству начать работать, - введение блокирующих дырки слоев. Поскольку подвижность дырок обычно очень велика, они успевают пролететь сквозь эмиссионный слой к катоду без рекомбинации, а введение такого слоя задерживает дырки и приводит к неизбежности их рекомбинации в эмиссионном слое (Рис. 9).

- Как снизить необходимое напряжение?

Пороговое напряжение - это то, при котором электроны и дырки уже могут попасть в эмиссионный слой. Поэтому первым требованием является поиск металлов с низкой работой выхода электрона, список которых приведен на Рис. 11. Однако ученые не просто перебирали возможные металлы, а предлагали разные способы их нанесения - не просто отдельным слоем, но и, например, допируя металлом слой органики (Рис. 12). Для чего это нужно? Дело в том, что электрон не может просто "перепрыгнуть" с металла на органический слой. При этом происходит химическая реакция с образованием катиона металла и радикал-аниона. Это приводит к тому, что слой органики, допированный металлом, все равно образуется, но его толщина и морфология непредсказуема! Именно для этого ученые предложили контролируемо создавать такой слой, в котором можно было бы менять и толщину, и концентрацию металла. Пример такого катода приведен на Рис. 15, а на Рис. 16 показано, как заметно это снижает напряжение работы устройства. Другие варианты допированных катодов показаны на Рис. 17. Точно также можно поступить и с анодом (Рис. 18), и если совместить оба приема, напряжение работы можно понизить очень заметно (Рис. 19)!

- Как улучшить квантовую эффективность?

Для этого проф. Кидо сразу выбрал фосфоры, для которых предел квантовой эффективности составляет 100%. Алгоритм выбора таких материалов уже подробно излагался в одной из предыдущих статей в НМ, поэтому здесь мы укажем только, на какой структуре становился сам проф. Кидо, и какова была эффективность ее работы (Рис. 20, 21).

- Как увеличить время службы?

Краеугольным камнем в создании осветителя на основе ОСИД стала продолжительность его службы - никто не купит лампочку, которую придется заменять каждую неделю! Для решения этой проблемы нужно понять основной механизм гибели устройства, и он заключается в аккумулировании заряда на любой границе между слоями в структуре ОСИД. Следовательно, такого аккумулирования нужно не допустить, а именно, сгладить эти границы. От послойной структуры можно перейти к смеси компонентов, либо к ступенчатой системе, когда концентрация одного компонента относительно другого постепенно возрастает от 0% до 100%. Несмотря на то, что второй вариант интуитивно кажется более перспективным, время службы в первом случае оказывается заметно выше. Причина в том, что в случае ступенчатого перехода заряд может собираться на каждой из ступеней, а значит, для того, чтобы добиться наилучшего результата, нужно сделать такое изменение концентрации плавным. Понимание этого привело к созданию напылительных установок, позволяющих создавать такие плавные переходы, и, в свою очередь, к заметному возрастанию времени жизни (Рис. 24).

Вот так постепенно был пройден путь, позволивший получить коммерческие белые светодиоды.

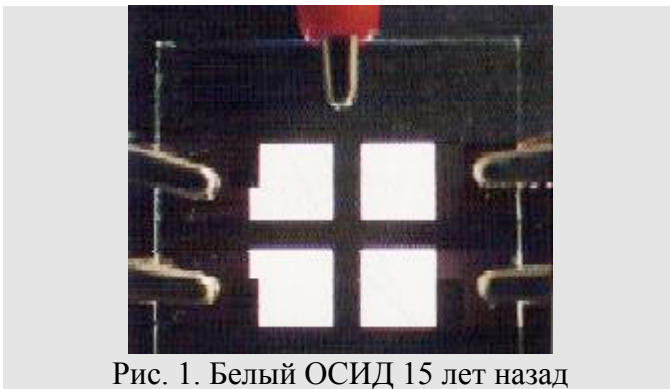


Рис. 1. Белый ОСИД 15 лет назад



Рис. 2. Статья в Wall Street о возможности ОСИД-освещения

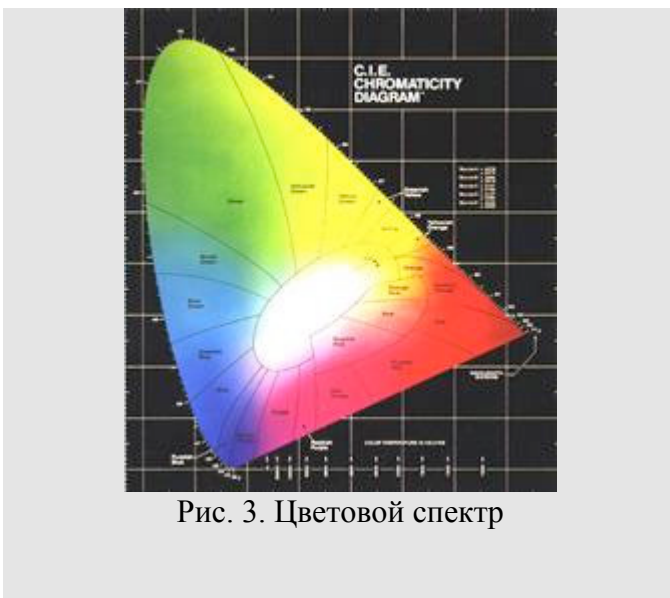


Рис. 3. Цветовой спектр

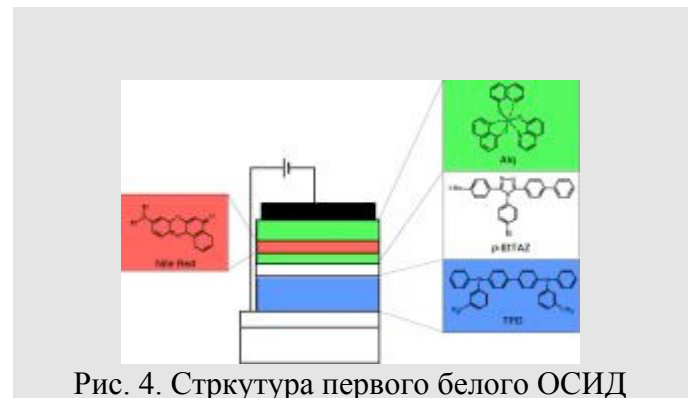


Рис. 4. Структура первого белого ОСИД

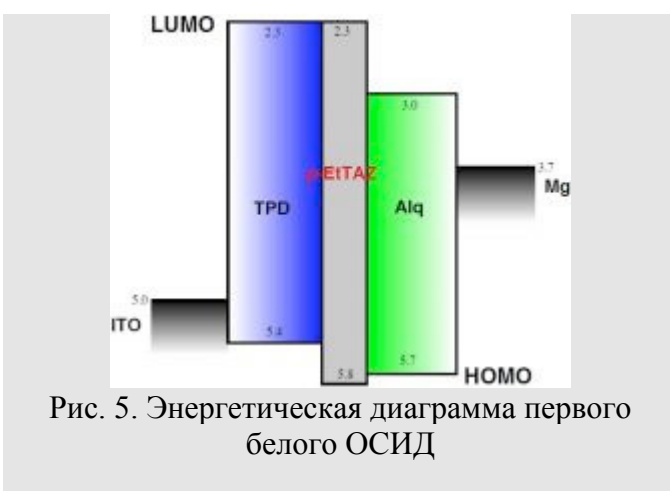


Рис. 5. Энергетическая диаграмма первого белого ОСИД

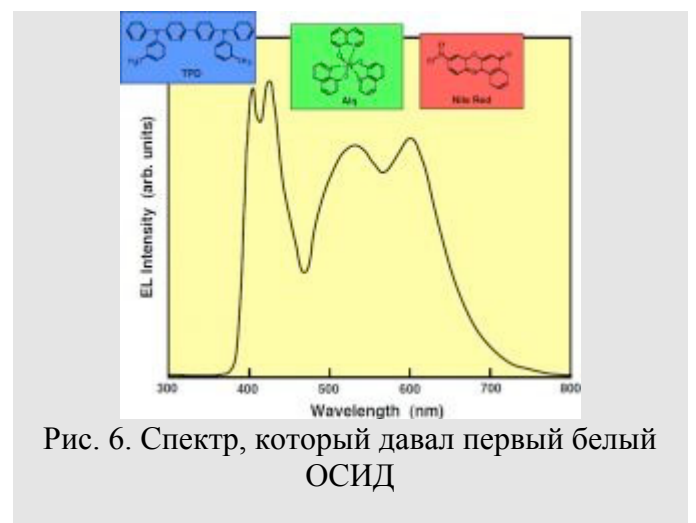


Рис. 6. Спектр, который давал первый белый ОСИД

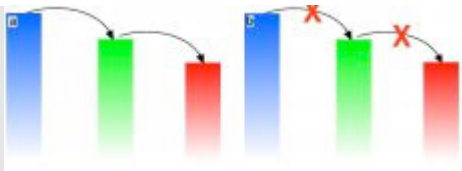


Рис. 7. В случае больших концентраций возможен перенос энергии между люминофорами, а в случае малых - нет

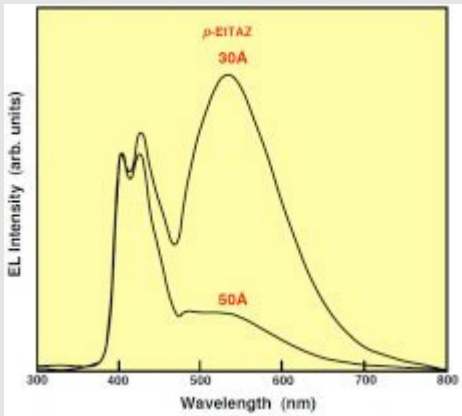


Рис. 9. Такое изменение спектра дает введение дырко-блокирующего слоя

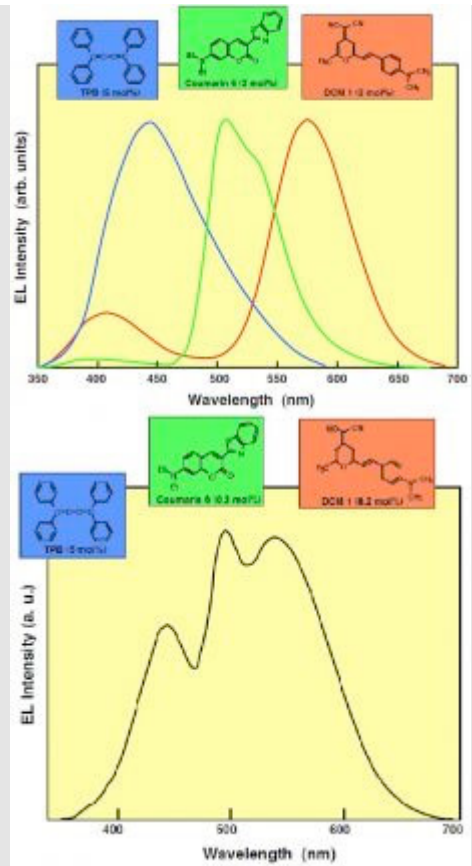
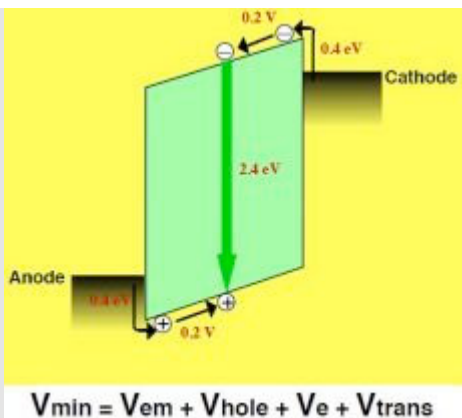


Рис. 8. И вот к какому спектру это приводит

Alkali metals	Alkali earth metals	Rare earth metals
Li 2.9	Mg 3.66	Eu 2.5
Na 2.75	Ca 2.87	
K 2.3	Sr 2.59	
Rb 2.16	Ba 2.5	
Cs 2.14		

Work Function in eV

Рис. 11. Металлы с низкими работами выхода



$$V_{min} = V_{em} + V_{hole} + V_e + V_{trans}$$

Рис. 10. Механизм транспорта заряда от электродов



Рис. 12. Варианты представления электродов

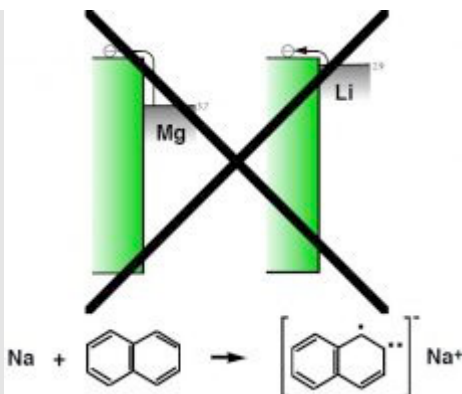


Рис. 13. Все не так просто!

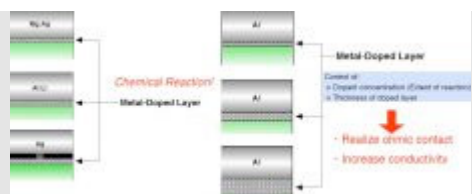


Рис. 14. Контролируемое допирование

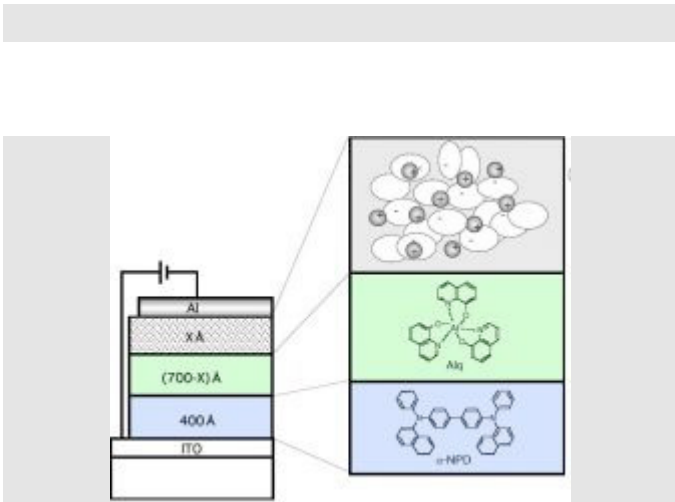


Рис. 15. Если использовать такую структуру...

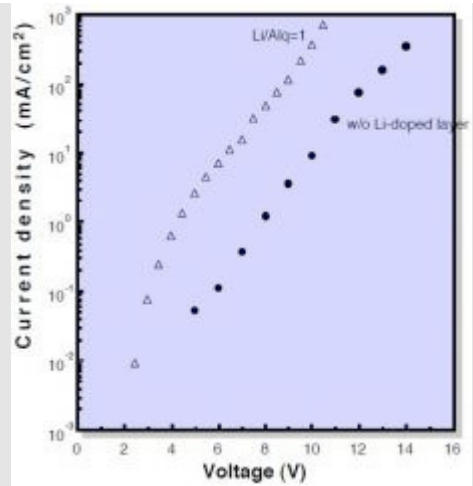


Рис. 16... ВАХ изменится вот так!

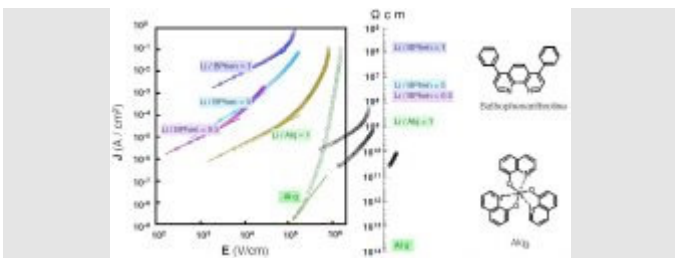


Рис. 17. Другие варианты катодов

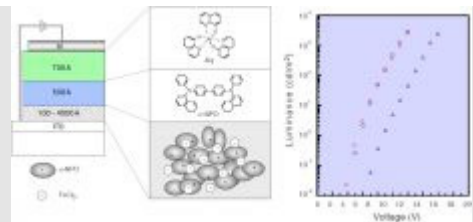


Рис. 18. Тот же прием для анода

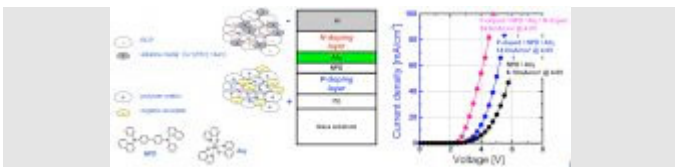


Рис. 19. А вот и совмещение допированных анода и катода

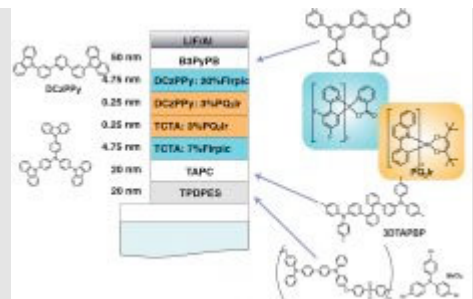


Рис. 20. Подбор допантов и слоев-"хозяев"

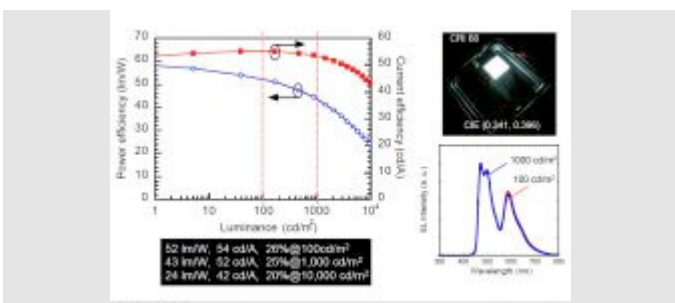


Рис. 21. Уже сильно улучшенный белый ОСИД

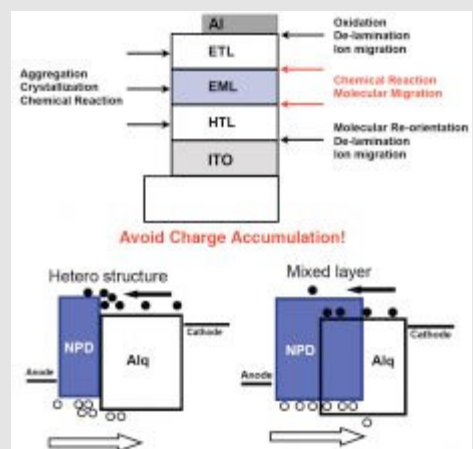


Рис. 22. Нужно избежать аккумуляции заряда!

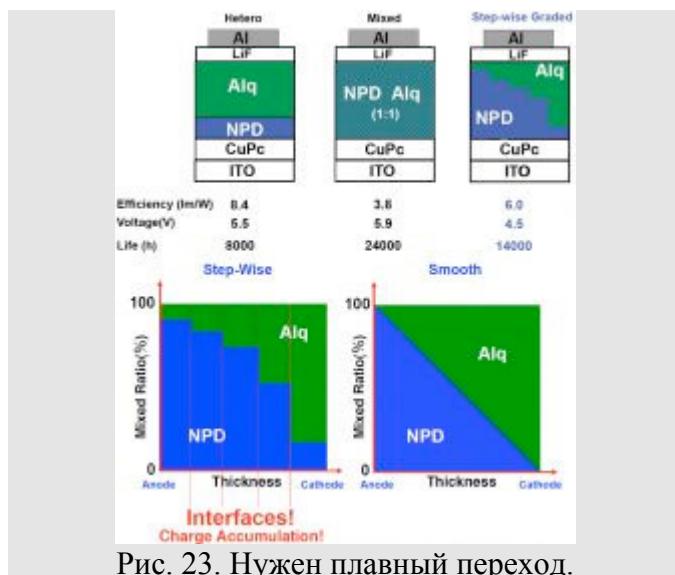


Рис. 23. Нужен плавный переход.

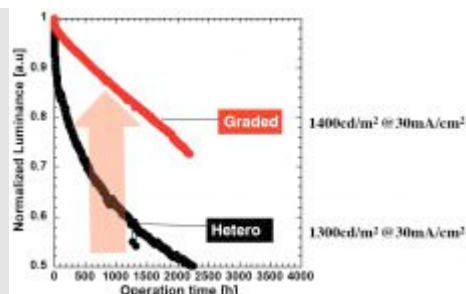


Рис. 24. Увеличение времени службы



Рис. 25. И вот что получилось

Супрамолекулы светятся от счастья

Nobuhiko Iki, В.В.Уточникова

Текст статьи основан на лекции, прочитанной проф. Ики на первой международной конференции по люминесценции лантанидов.

Как написал в 1988 году Жан-Мари Лен, один из основателей супрамолекулярной химии, ее можно определить как «химию за пределами молекулы». Если выразить свойство супрамолекулярности математически, можно сказать, что при образовании супрамолекулярного комплекса должен выполняться закон:

$$f(a + b) > f(a) + f(b),$$

где f – это какая-либо функция, структура или свойство, a и b – компоненты комплекса, а $(a + b)$ – супрамолекулярный комплекс. В случае равенства

$$f(a + b) = f(a) + f(b)$$

мы имеем дело с обычной, молекулярной, системой.

Пытаясь более наглядно продемонстрировать это утверждение, проф. Nobuhiko Iki из Tohoku University, Япония, параллельно решил и ряд других задач, таких как создание люминофора с очень высоким временем жизни возбужденного состояния (4.6 мс), высокочувствительного анализатора на ионы серебра и эффективного излучателя в ближней ИК области.

В качестве комплекса проф. Ики рассмотрел структуру тиакаликс[4]арен – ион тербия – ион серебра. Несмотря на то, что тиакаликсареновые олигомеры обычно образуют линейные цепи, известен простой способ получения циклического олигомера по реакции с циклической серой S₈ с высоким выходом (Рис. 1). В этой молекуле сразу обращают на себя внимание свободные пары электронов и 3d-орбитали, которые могут эффективно использоваться для координации ионов металла. Кроме того, наличие как концевых атомов кислорода, так и серы приводит к селективной координации как «мягких», так и «жестких» ионов металла (Рис. 2).

Но у тиакаликсарена есть свойство, которое не может проявляться до координации: эффективная абсорбция света с возможностью передать ее в качестве антенны на ион металла. Если образовать комплекс с тербием, то тиакаликсарен будет играть роль одновременно эффективной антенны и координирующей группы (Рис. 3). Таким образом, в отличие от комплексов, в которых координирующая группа и антенна связаны ковалентным линкером, в случае тиакаликсарена мы получаем действительно супрамолекулярный комплекс, а варьируя заместители, можно подобрать оптимальную систему не только для тербия, а для каждого из ионов РЗЭ – европия, неодима или эрбия (Рис. 4).

Однако при координации иона тербия необходимы только два атома кислорода и один – серы, то есть в структуре каликсарена остается еще несколько возможностей для координации (Рис. 5)! Значит, можно добавить и еще один ион другого металла для образования тринарного комплекса металл – тербий – каликсарен. Какие же возможности это нам открывает?

Проф. Ики в качестве дополнительного металла предложил ион серебра. Синтез такого тринарного комплекса очень прост: водные растворы каликсарена и нитратов тербия и серебра в дважды дистиллированной воде смешивают при постоянном рН и выдерживают в темноте в течение часа, при этом происходит спонтанное образование термодинамически стабильного комплекса $Ag_2Tb_2TCAS_2$, или просто 2-2-2 (Рис. 6). Комплекс тут же начал удивлять - рН-метрическое титрование выявило явный переход, соответствующий изменению состава комплекса, который по данным масс-спектрометрии имеет состав $Ag_2TbTCAS_2$, или 2-1-2, где ион тербия находится в центре, а ионы серебра – снаружи (Рис. 7). Однако спектры люминесценции полученного комплекса не существенно отличаются от бинарного комплекса тербий-каликсарен, чего нельзя сказать о времени жизни возбужденного состояния. По сравнению с бинарным комплексом $TbTCAS$ оно возрастает более, чем в 6 раз! Причиной этого является отсутствие основного гасителя люминесценции – молекул воды, координированных к иону тербия (Рис. 8). Оценка по уравнению Хоррока дает количество молекул воды на один атом тербия, равное 0.1!

Но отсутствие воды особенно важно при получении излучателей в ближнем ИК диапазоне, которые очень важны для биологических применений. Такие соединения можно получить, просто заменяя ион тербия на ион неодима в соединении 2-1-2. Пока полученные данные еще не опубликованы, но они уже свидетельствуют о получении излучателя с очень высокой эффективностью люминесценции по сравнению с существующими сегодня.

Но проф. Ики не остановился на достигнутом: он предложил еще одно применение полученному соединению. Легкость образования тринарного комплекса натолкнула его на мысль об использовании $TbTCAS$ как ананта на ионы серебра (Рис. 9). Изменение интенсивности люминесценции при рН 5, где люминесценция бинарного комплекса еще не наблюдается, а тринарного – довольно высока, позволяет по калибровочному графику определить концентрацию ионов серебра с чувствительностью 10^{-9} М – в тысячу раз выше, чем обычными методами!

Вот так получение одного супрамолекулярного соединения позволило решить сразу три насущные проблемы

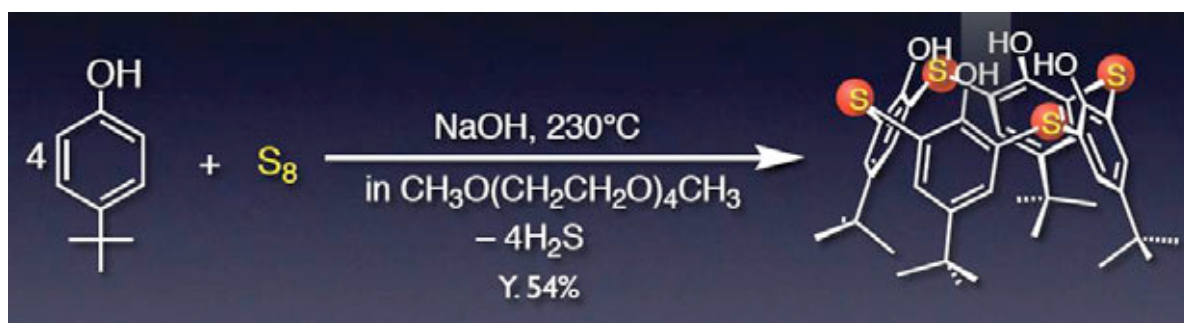


Рис. 1. Синтез тиакаликс[4]арена



Рис. 2. Координация "мягких" и "жестких" ионов металла

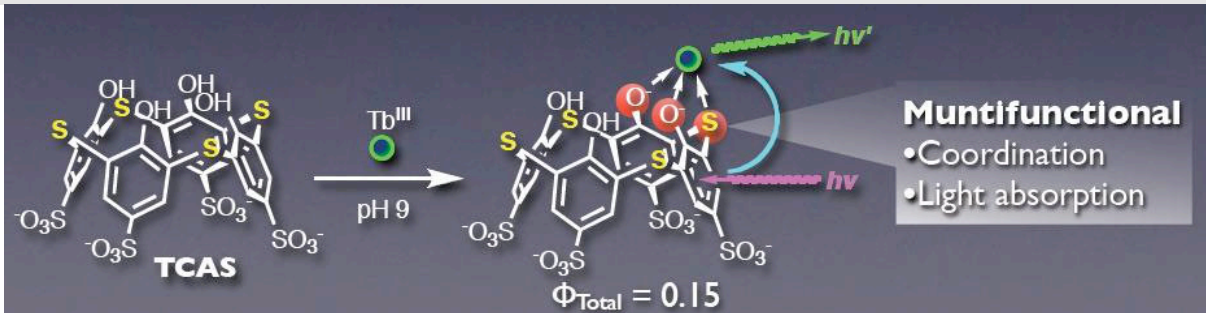


Рис. 3. Супрамолекулярный уомплекс с тербием

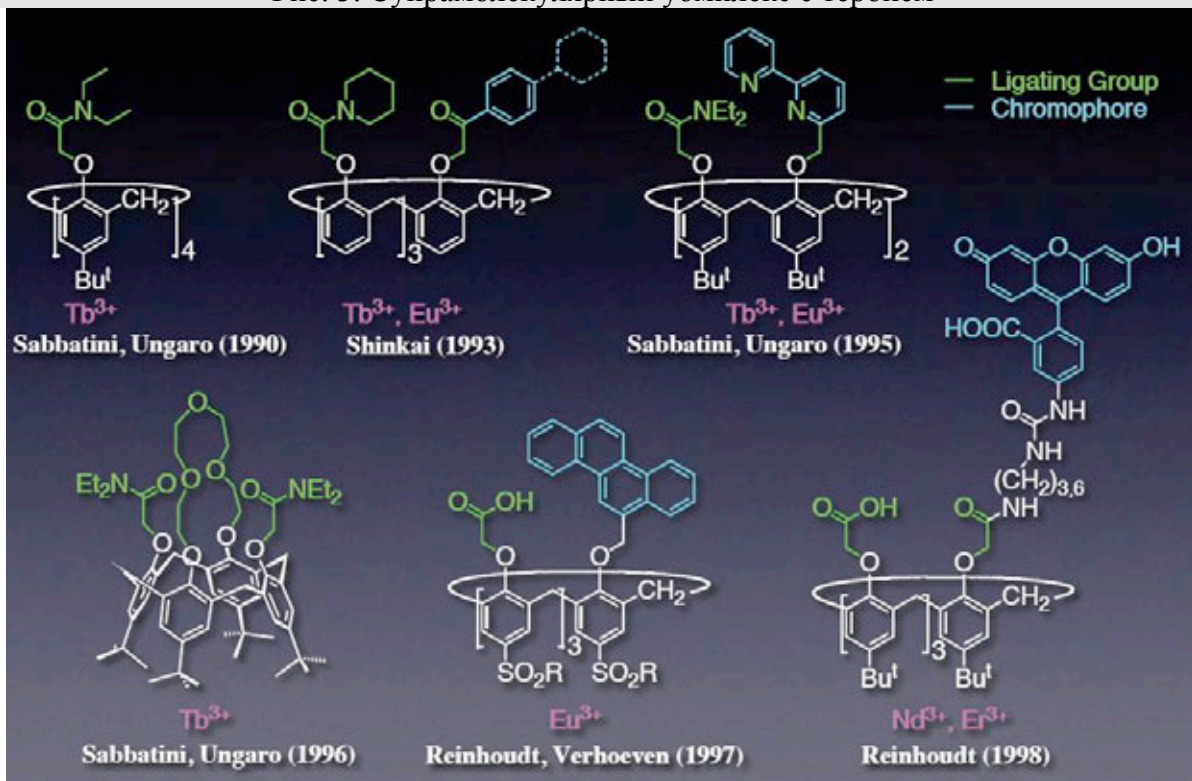


Рис. 4. Варьируя заместители, можно подобрать лиганд к любому иону

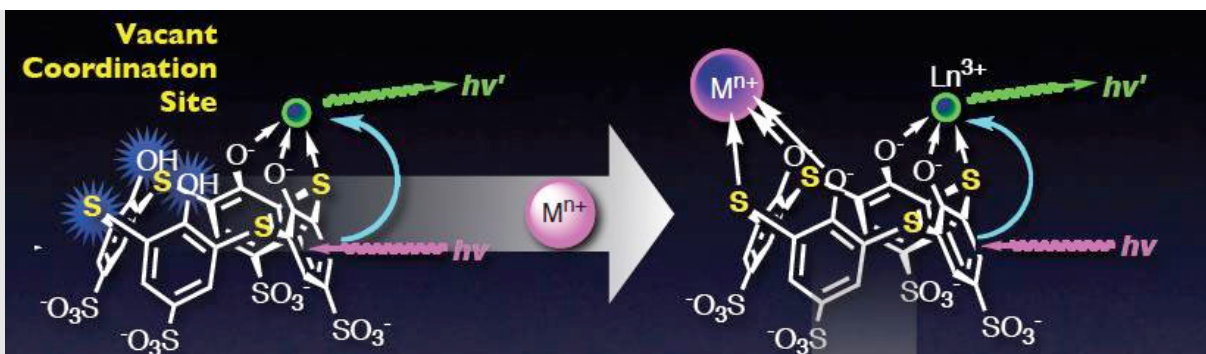


Рис. 5. Возможность координации второго иона металла

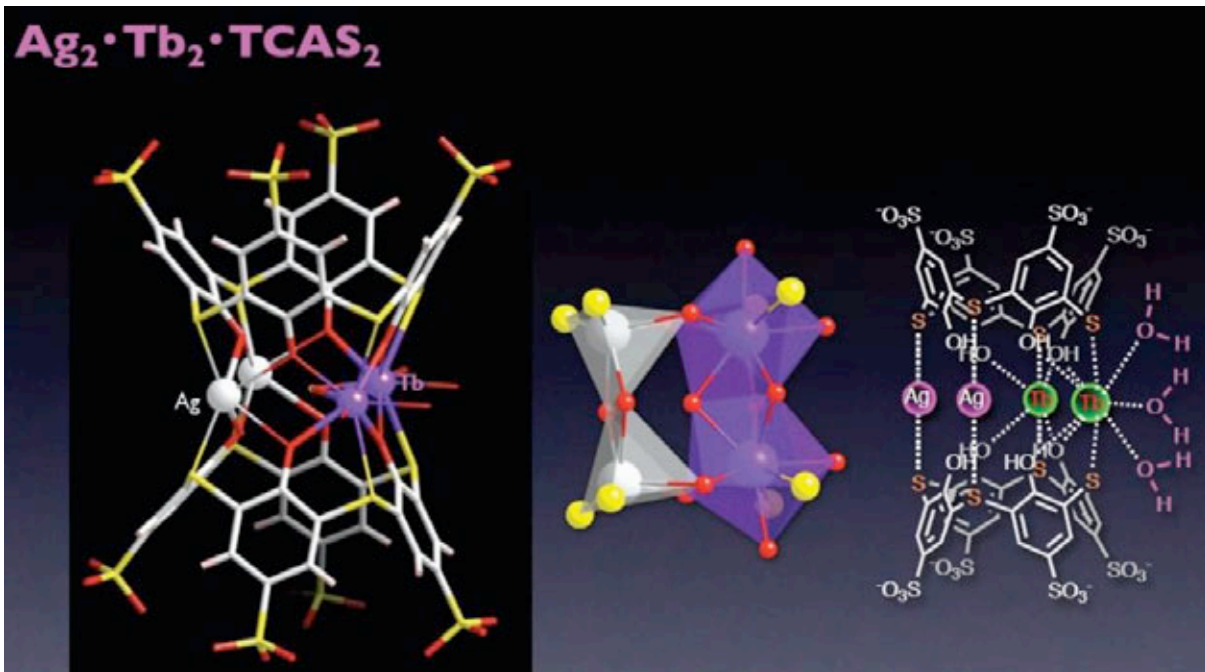


Рис. 6. Структура комплекса 2-2-2

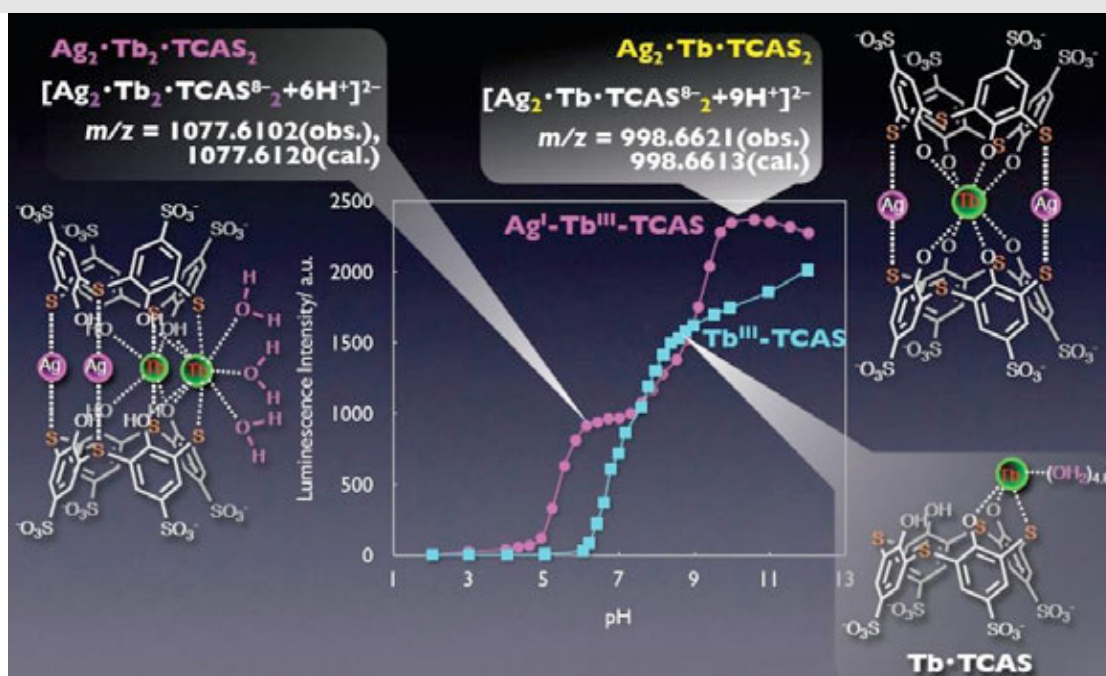


Рис. 7. pH-метрическое титрование бинарного и тринарного комплексов

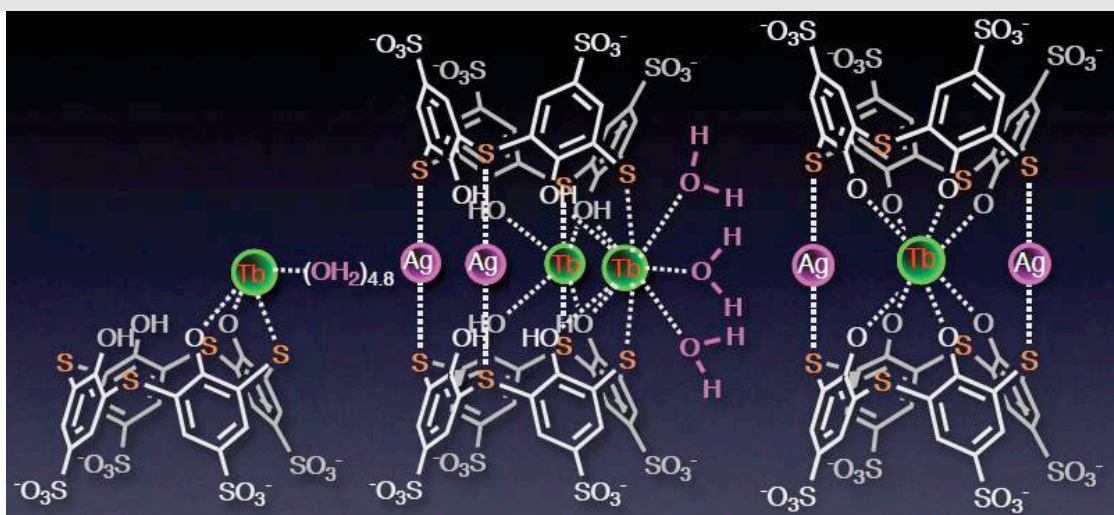


Рис. 8. Постепенное ограждение тербия от молекул воды

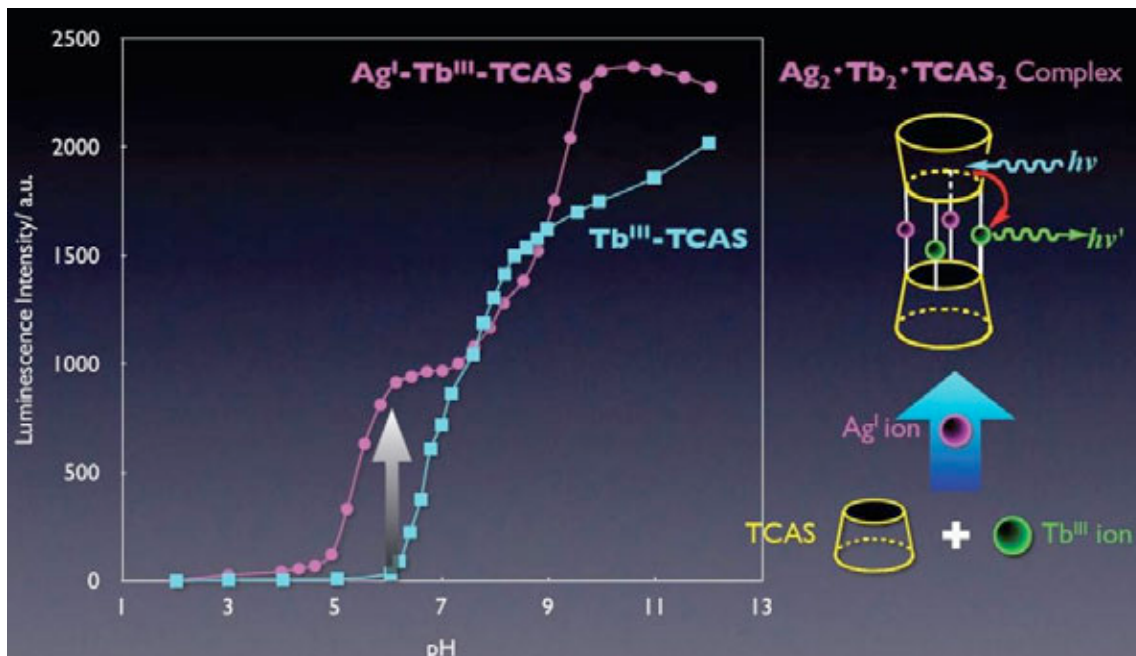


Рис. 9. Схема использования комплекса TbTCAS как аналита на ионы серебра

Люминесценция лантанидов для биовизуализации

Stephane Petoud, В.В. Уточникова

Текст статьи основан на лекции, прочитанной проф. Пету на Первой международной конференции по люминесценции лантанидов.

Почти все редкоземельные элементы (РЗЭ) способны люминесцировать в видимой или ближней ИК области (Рис. 1). Второе особенно важно для биологических применений, поскольку поглощение в биологических объектах, например, опухолей, ближнем ИК диапазоне довольно низко, а рассеяние при росте длины волны падает как λ^{-4} , то есть также довольно низко в ближней ИК области (Рис. 2). Использование же именно координационных соединений лантанидов обосновано тем, что, во-первых, высокое время жизни возбужденного состояния позволяет, используя времяразрешенную спектроскопию, отсечь быструю флуоресценцию биологических объектов, а во-вторых, по сравнению с флуоресцентными органическими молекулами КС РЗЭ обладают стабильной во времени люминесценцией (Рис. 3).

Напомним, что люминесценция РЗЭ происходит по механизму, представленному на Рис. 4: органическая часть молекулы – «антенна» - поглощает излучение, которое далее в ходе внутримолекулярных переносов передается на центральный ион РЗЭ. При этом важно учитывать возможность переизлучения энергии самой органической частью молекулы, а также возможность гашения люминесценции при наличии эффективных гасителей – в первую очередь O–H и N–H групп. Поэтому при подборе лигандов нужно учитывать множество факторов, поскольку интенсивность люминесценции лантанидов зависит от:

- квантового выхода, который в свою очередь зависит от эффективности антенны в качестве сенсibilизатора и защиты иона металла,
- числа фотонов, выходящих из источника излучения,
- поглощения люминесцирующих молекул и
- числа катионов РЗЭ в молекуле.

Проф. Стефан Пету предложил сосредоточиться на двух последних аспектах и использовать для биологической визуализации дендримеры (Рис. 5), содержащие несколько катионов РЗЭ в каждой молекуле. При этом по краям такого дендримера можно пришить эффективные сенсibilизаторы, а также дополнительные функциональные группы, например, для увеличения растворимости в воде. Одним из эффективных сенсibilизаторов является 2,3-нафталимид, который обладает высокой заселенностью триплетного уровня – до 95%, - с которого и происходит передача энергии на ион РЗЭ, а также его донирующие уровни энергии расположены таким образом, что возможна эффективная передача энергии почти на все ионы РЗЭ (Рис. 6).

Полученный дендример содержит 60 атомов кислорода - потенциальных координирующих центров, - 32 2,3-нафталимидных антенны и, что очень важно, биосовместим (Рис. 7). Однако комплекс европия, который был с ним получен, обладает квантовым выходом всего 0.0006(1)! Тогда чем же объяснить его яркую люминесценцию? Как раз большим числом входящих в его состав ионов РЗЭ.

Заменяя европий на неодим, а 2,3-нафталимид – на 1,8-нафталимид, можно получить дендримерный комплекс, излучающий в ближнем ИК диапазоне (Рис. 8). Его невысокий квантовый выход (0.000077) снова компенсируется восемью атомами неодима в его составе, а время жизни возбужденного состояния – 1.53 мкс – позволяет использовать его для биоприменений (Рис. 9). Но кроме этого, на основе таких соединений можно сделать клеточные сенсоры на кислород (Рис. 10), при повышении концентрации которого падает эффективность фотолюминесценции. Эти сенсоры стабильны, их сигнал обратим, а соотношение сигнал/шум достаточно велико.

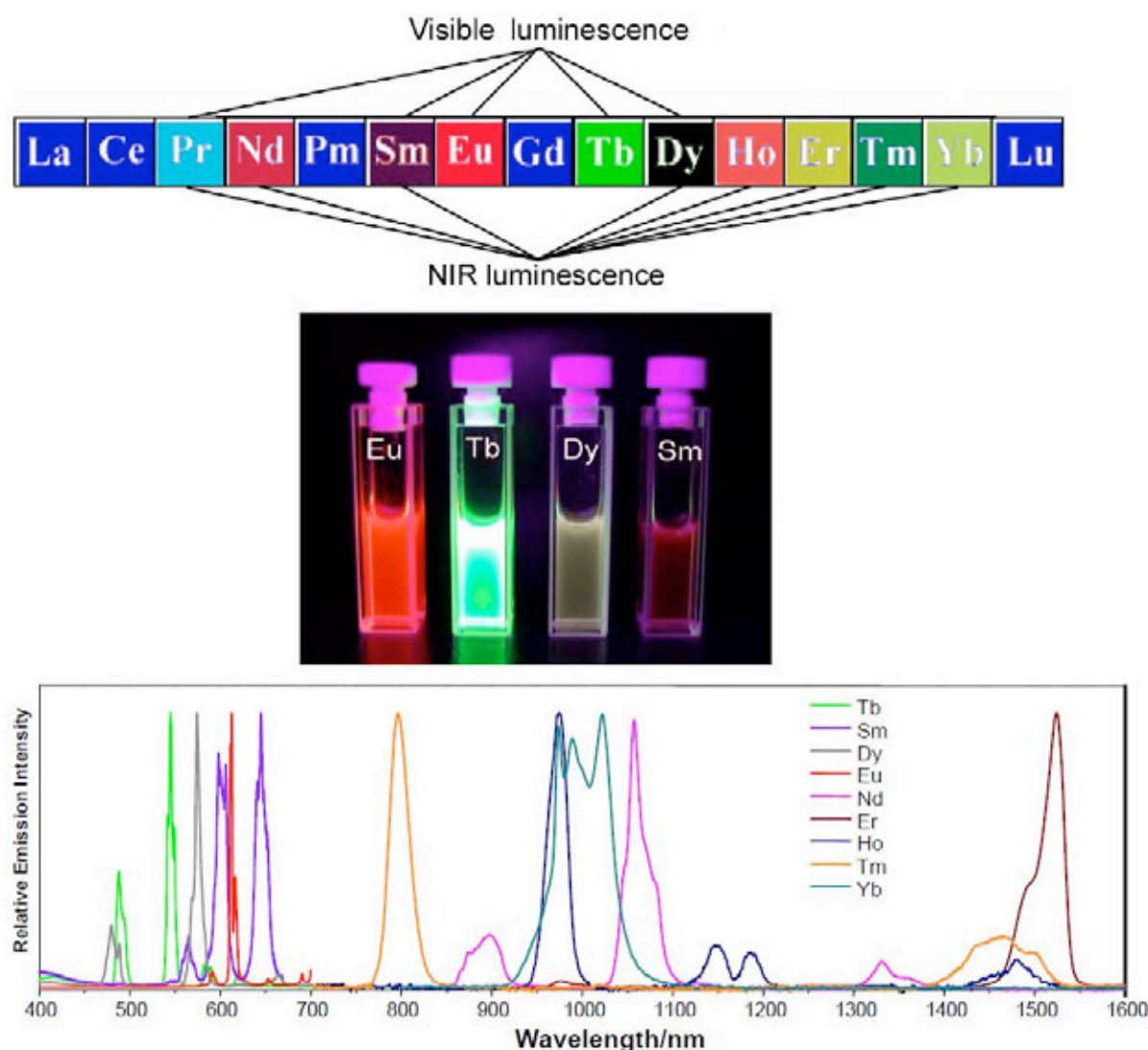


Рис. 1. Люминесценция КС РЗЭ в видимой и ближней ИК области

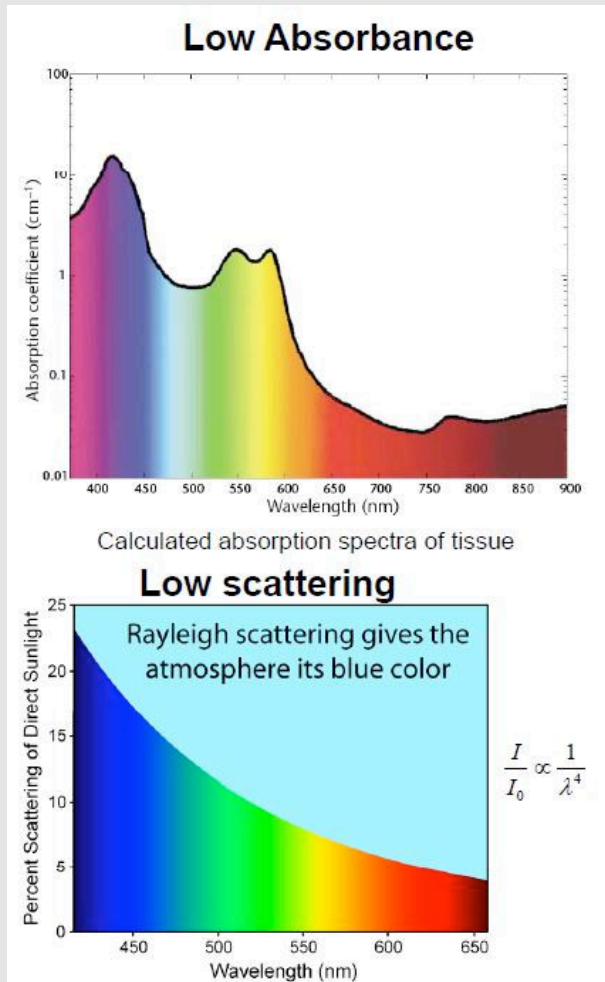


Рис. 2. преимущество излучателей в ближнем ИК диапазоне для биоприменений

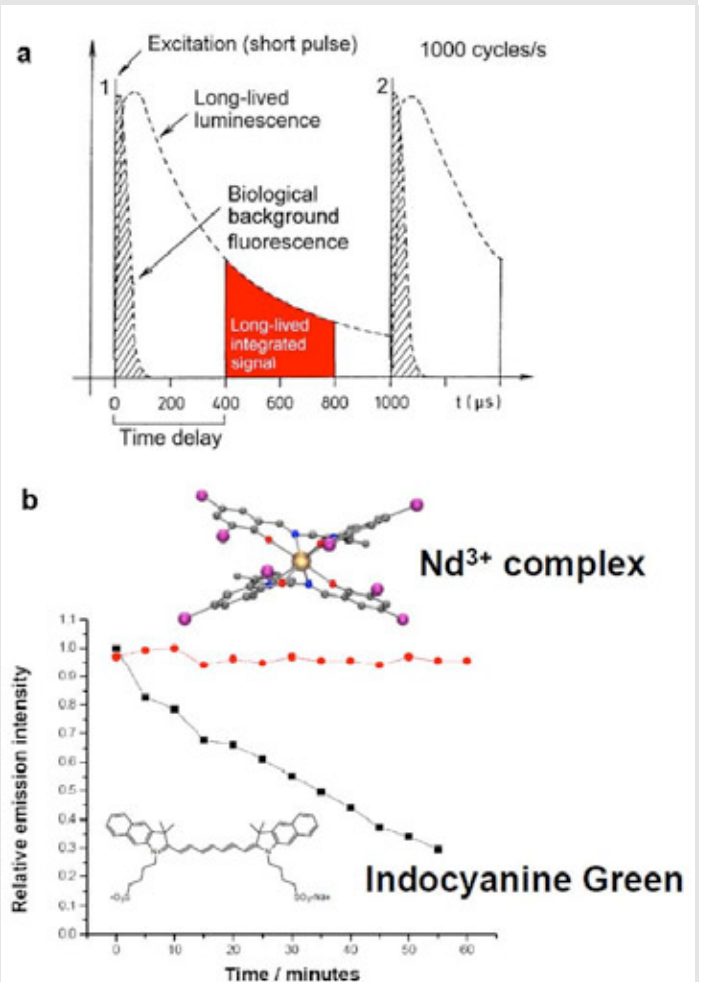


Рис. 3. Высокое время жизни и стабильность КС РЗЭ

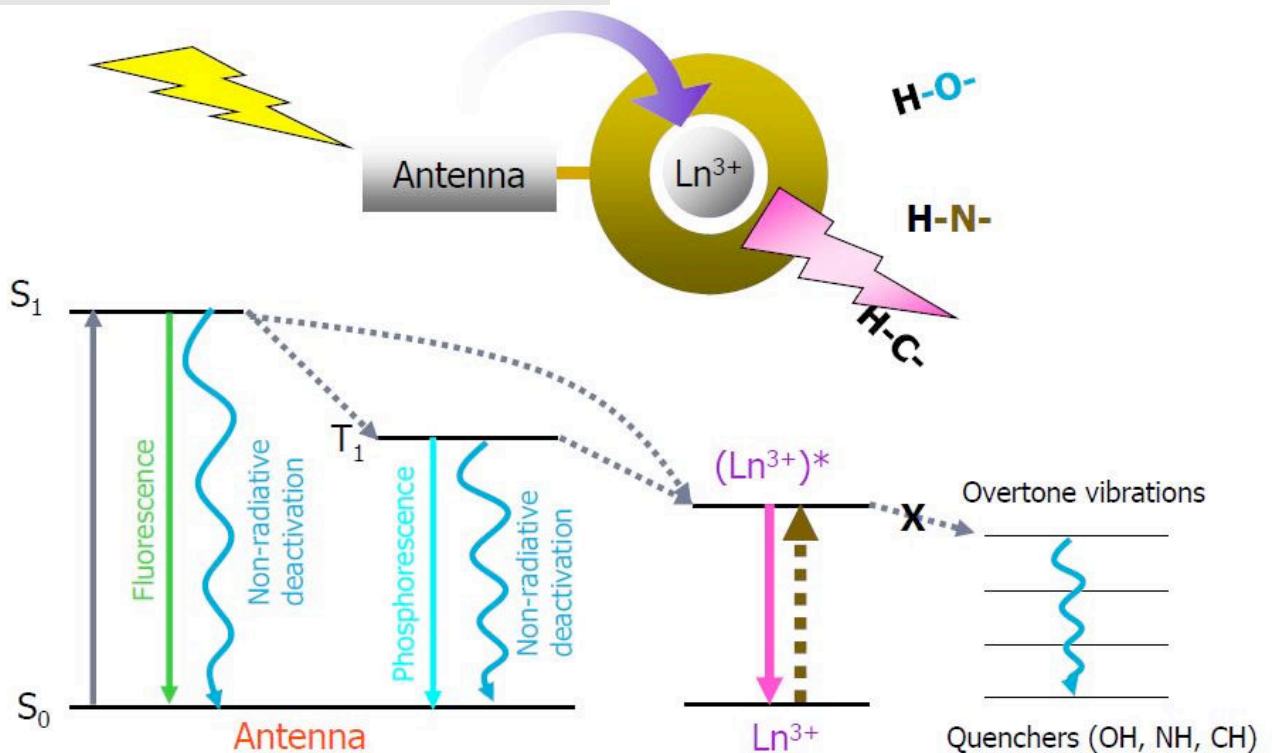


Рис. 4. Механизм люминесценции КС РЗЭ

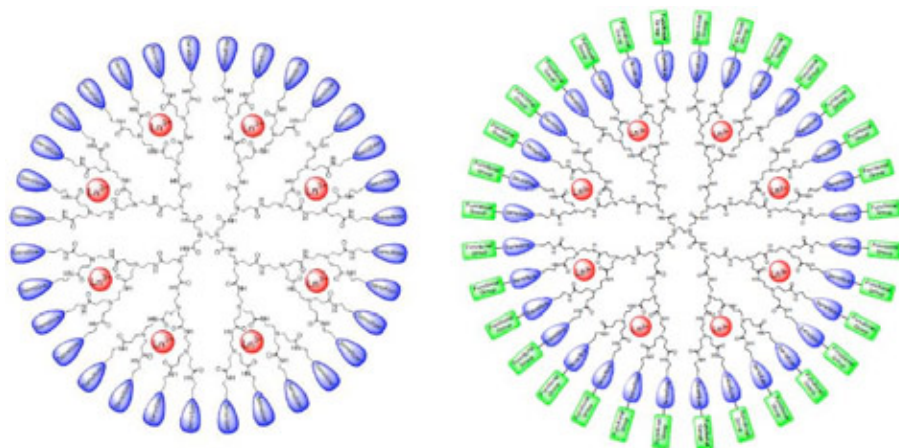


Рис. 5. Дендримеры как лиганды в КС РЗЭ

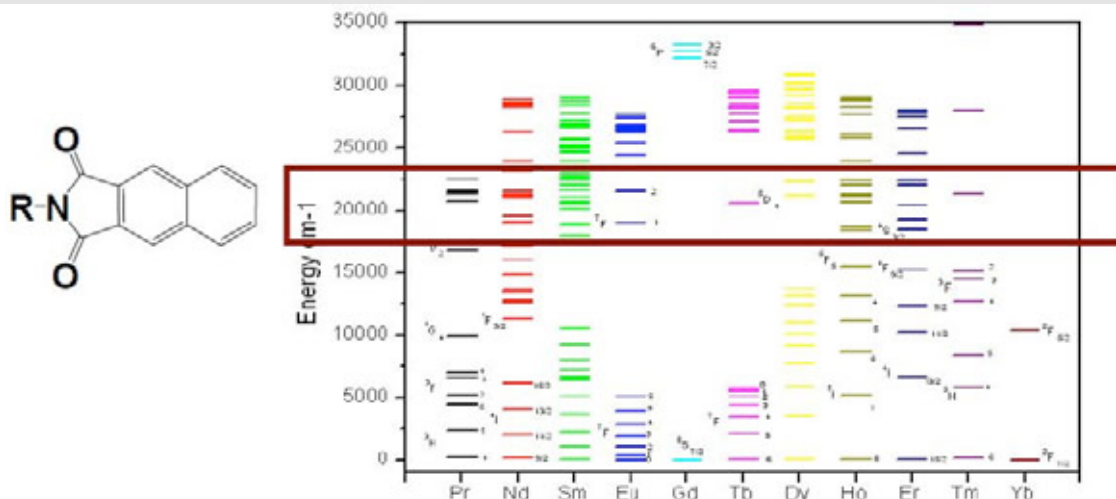


Рис. 6. 2,3-нафталиимид

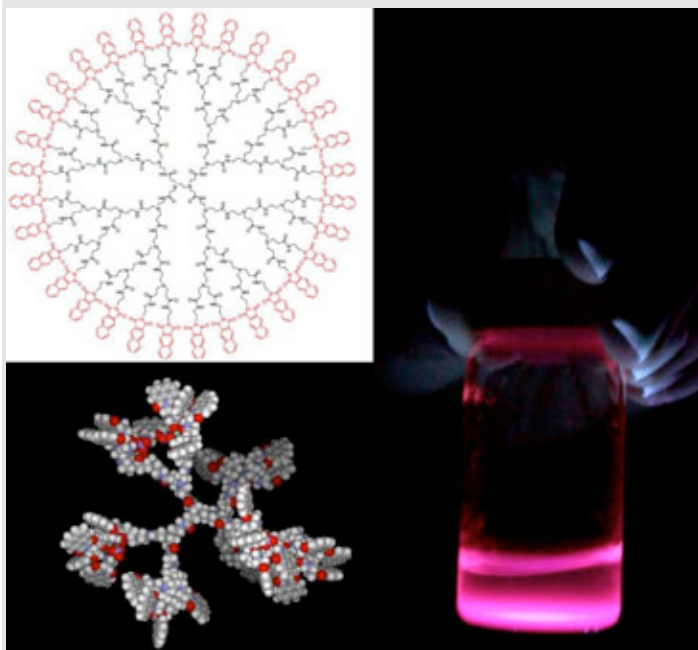


Рис. 7. Структура и люминесценция дендримера с европием

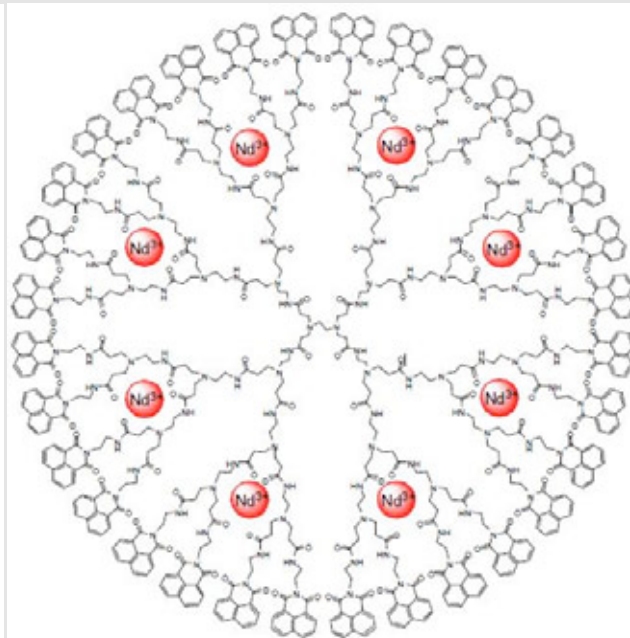


Рис. 8. Дендример с неодимом и антенной - 1,8-нафталиимидом

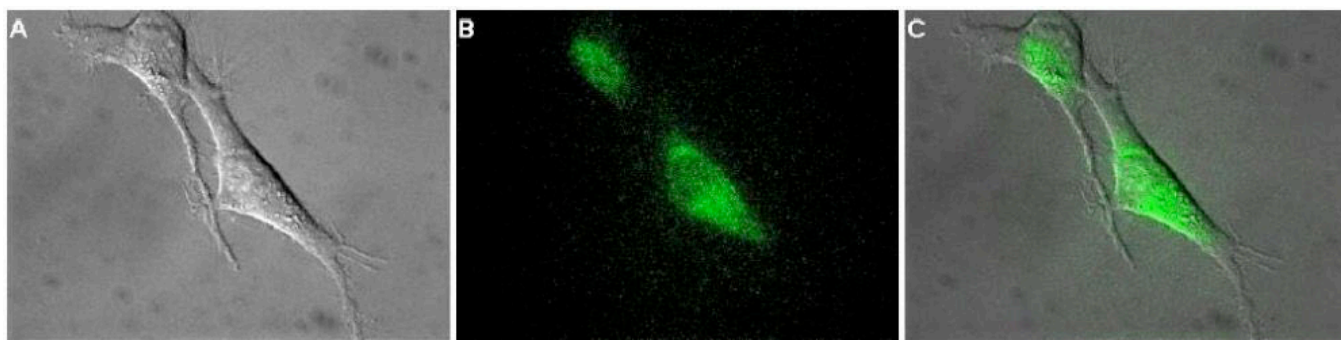


Рис. 9. Использование неодимового дендримера для биовизуализации

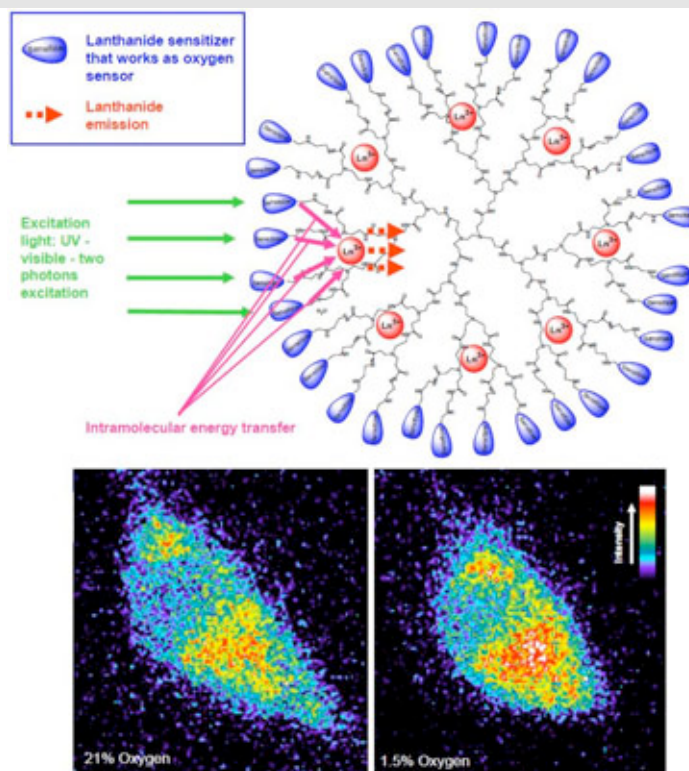


Рис. 10. Использование дендримера как кислородного сенсора

Что такое сверхрешетки и их типы

П.Г. Клюев

Каждый кристалл имеет в своей основе кристаллическую решетку, в узлах которой расположены атомы или ионы. Для того, чтобы получить сверхрешетку, необходимо навязать кристаллу еще один период - превышающий период кристаллической решетки в несколько раз. Наиболее простой способ - соединить несколько слоев различных материалов. Получение таких структур важно в первую очередь для создания целого ряда устройств - нелинейных преобразователей СВЧ сигналов, генераторов и усилителей ЭМ сигналов, частоты в которых можно перестраивать в довольно широком диапазоне и пр.. Все знают, что движение электронов в кристаллической решетке представляет собой движение в пространственно периодическом поле. В энергетическом отношении уровни сливаются в зоны, и электроны могут занимать только определенные уровни энергии в так называемых энергетических зонах, разделенных интервалами запрещенных энергий. Было бы неплохо иметь механизм, позволяющий управлять параметрами периодической структуры, энергетическими зонами, их шириной. Для этого и были созданы сверхрешетки или искусственные кристаллы. Меняя толщину прослоек, химический состав материалов, можно менять периодические свойства в широких пределах.

Классическим примером сверхрешетки может быть структура, состоящая из чередующихся тонких слоев полупроводника. Период сверхрешетки превышает постоянную кристаллической решетки, но меньше длины свободного пробега электронов. Помимо периодического потенциала кристаллической решетки сверхрешетка обладает потенциалом, обусловленным периодичностью ее структуры. Этот потенциал называется потенциалом сверхрешетки. Различают два основных вида сверхрешеток. Это **композиционные сверхрешетки** и **ірі сверхрешетки**. Композиционные состоят из полупроводников разного химического состава, их еще называют гетероструктурными сверхрешетками. ірі сверхрешетки состоят из слоев полупроводника с разными типами проводимости, чередующимися с собственными полупроводниками. Отсюда и сокращенное название, ясно определяющее периодическую структуру.

В композиционной сверхрешетке **1-го типа** (см.рисунок 1а) разрывы зон имеют разные знаки, а запрещенная зона одного полупроводника полностью охватывает запрещенную зону второго. Формируются квантовые ямы для дырок и электронов. Квантовое ограничение носителей заряда происходит внутри одних и тех же слоев, образующих яму. Первая сверхрешетка типа I была построена для системы GaAs - Al_xGa_{1-x}As. На рисунке 2 показана схема расположения слоев (слева) и зонная диаграмма в зависимости от координаты (координата по оси ординат, энергия по оси абсцисс). Видно, что в зоне проводимости появляются электронные подзоны, а в валентной - дырочные. Иногда используют материалы с разной величиной постоянной решетки. Тогда согласование решеток происходит за счет напряжений между тонкими слоями. В композиционной сверхрешетке **2-го типа** разрывы зон имеют одинаковый знак (см.рисунок 1б), а запрещенные зоны могут и вовсе не перекрываться. В этом случае квантовое ограничение носителей заряда происходит в слоях разных материалов. Валентная зона одного материала расположена близко к зоне проводимости другого. Типичным примером могут служить соединения типа In_{1-x}Ga_xAs - GaSb_{1-y}As_y (см.рисунок 3). В **политипной** сверхрешетке в дополнение к сверхрешетке 2-го тип появляется третий широкозонный полупроводник, представляющий потенциальный барьер как для дырок, так и электронов. В качестве широкозонного материала можно использовать AlSb, полностью перекрывающий запрещенные зоны GaSb и AlAs (см. рисунок 4).

Список используемых источников

1 Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989.

2 Ю.П., КардонаМ. Основы физики полупроводников: Пер. с англ. - М.:ФИЗМАТЛИТ, 2002

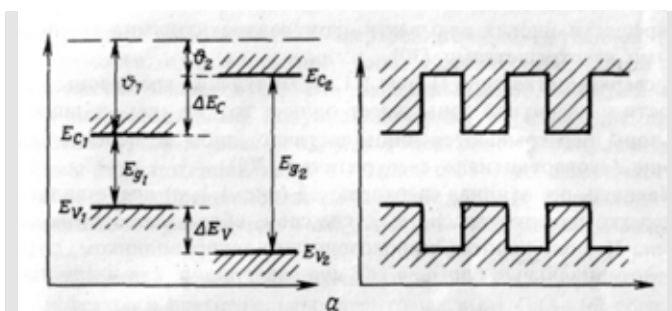


Рисунок 1 - Расположение краев зоны проводимости и валентной зоны относительно уровня вакуума в отдельных неконтактирующих веществах (слева) и в композиционных сверхрешетках (справа)
а) сверхрешетка типа I

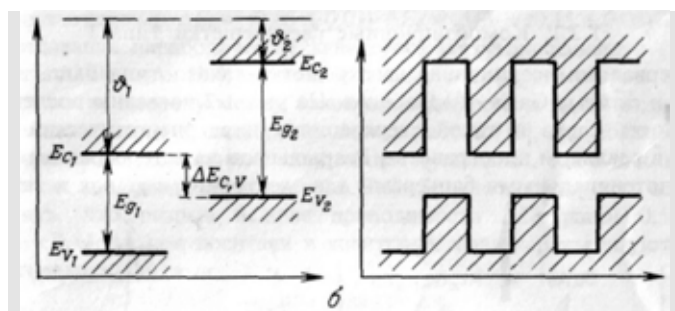


Рисунок 1 - Расположение краев зоны проводимости и валентной зоны относительно уровня вакуума в отдельных неконтактирующих веществах (слева) и в композиционных сверхрешетках (справа)
б) сверхрешетка типа II

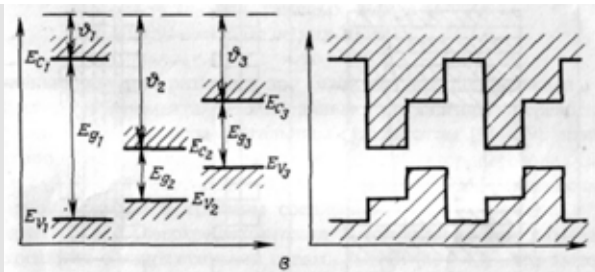


Рисунок 1 - Расположение краев зоны проводимости и валентной зоны относительно уровня вакуума в отдельных неконтактирующих веществах (слева) и в композиционных сверхрешетках (справа) в) политипная сверхрешетка

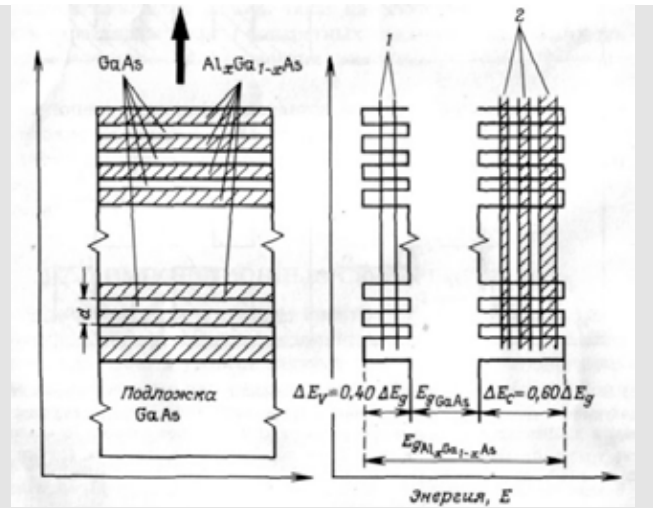


Рисунок 2 - Схема расположения слоев (слева) и зонная диаграмма в зависимости от координаты (координата по оси ординат, энергия по оси абсцисс) для сверхрешетки GaAs-AlxGa1-xAs. Стрелка показывает направление роста слоев

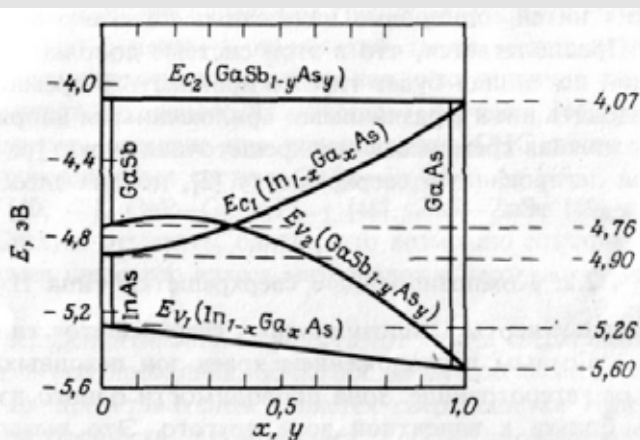


Рисунок 3 - а) зависимость положения краев зон отсчитанных от вакуумного уровня в зависимости от состава. По оси абсцисс отложены индексы концентрации элементов

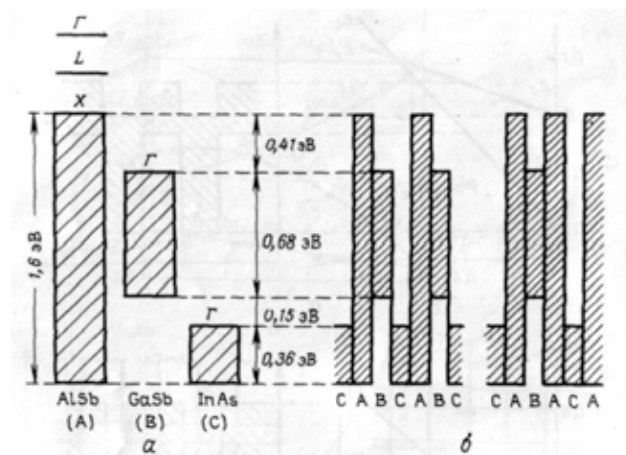


Рисунок 4 - а) энергия краев зон AlSb по отношению к GaSb InAs, б) энергетические диаграммы двух типов политипных сверхрешеток. Заштрихованные области отвечают запрещенным зонам.

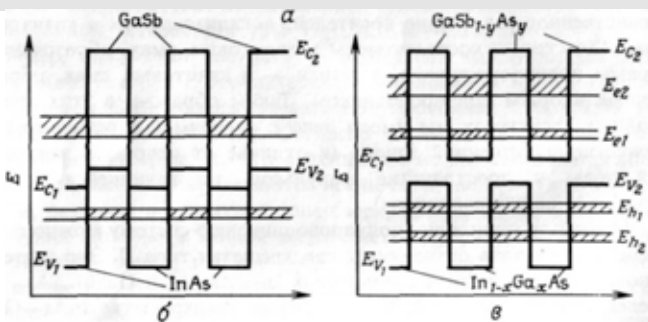


Рисунок 3 - Схематические зонные диаграммы сверхрешеток б) InAs-GaSb и в) In_{1-x}Ga_xAs-GaSb_{1-y}As_y. Заштрихованным областям соответствуют подзоны. По оси абсцисс отложена координата

МикроЭлектроМеханические системы

Г. А. Досовицкий

Что такое МЭМС

МикроЭлектроМеханические Системы или сокращенно МЭМС - это множество микроустройств самых разнообразных конструкций и назначения, производимых сходными методами с использованием модифицированных групповых технологических приемов микроэлектроники. Объединяет их два признака. Первый – это размер, второй – наличие движущихся частей и предназначение к механическим действиям. В мире они известны под аббревиатурой MEMS – MicroElectroMechanical Systems.

Это могут быть:

- миниатюрные детали: гидравлические и пневмо клапаны, струйные сопла принтера, пружины для подвески головки винчестера
- микроинструменты: скальпели и пинцеты для работы с объектами микронных размеров
- микромашины: моторы, насосы, турбины величиной с горошину
- микророботы
- микродатчики и исполнительные устройства

Некоторые из них уже производятся в мире многомиллионными тиражами, другие только разрабатываются и проходят испытания. С микросистемами связывают тот технологический рывок, который человечество совершит в 21 веке, им предрекают совершить такой же переворот, который совершила в 20 веке микроэлектроника.

Микротехнологии развиваются на основе научно-технологического задела микроэлектроники. Вместе с тем, микроэлектромеханические системы призваны активно взаимодействовать с окружающей средой. Кроме того, конструкции систем обладают выраженной трехмерностью. От классических механических систем их отличает размер – материалы в таком масштабе ведут себя несколько иначе, чем в объемном виде, хотя микросистемы еще подчиняются законам классической физики, в отличие от наносистем. Тем не менее классическая физика предсказывает для микроустройств особые свойства. Все это требует ряда совершенно новых подходов к проектированию, изготовлению и материалам МЭМС. Новые задачи в проектировании связаны с необходимостью расчета и моделирования не только задач схмотехники и логики, но и совокупности проблем механики твердого тела, термоупругости, газо- и гидродинамики - порознь или одновременно появляющихся в изделии. Что касается материалов, то несмотря на то, что монокристаллический кремний - традиционный материал микроэлектроники - имеет ряд уникальных свойств, необходимы другие материалы с новыми сочетаниями электро-физико-механических свойств. Новые задачи технологии связаны с наиболее характерными отличиями микросистем от изделий микроэлектроники: если последние по существу двумерны и механически статичны, то микросистемы - это реальные трехмерные структуры, элементы которых должны иметь возможность относительного механического перемещения. Эти новые свойства требуют развития новых технологических операций для 3-D формообразования.

Поскольку МЭМС развиваются на стыке множества отраслей науки и техники, требуется участие в работах специалистов самых разных областей знания, которые могли бы эффективно взаимодействовать. Координировать работу таких групп должны специалисты, которые владеют знаниями во всех основных предметных областях, имеющих отношение к созданию микросистем, а также владеют современной методикой реализации инновационной деятельности.

Микроактюаторы

Микроактюатор (составная часть МЭМС) - это устройство, которое преобразовывает энергию в управляемое движение. Микроактюаторы имеют размеры от нескольких квадратных микрометров до одного квадратного сантиметра. Диапазон применения микроактюаторов чрезвычайно широк и

различен, и он постоянно возрастает. Они используются в робототехнике, в управляющих устройствах, в космической области, в биомедицине, дозиметрии, в измерительных приборах, в технологии развлечения, автомобилестроении и в домашнем хозяйстве.

Основные используемые методы получения активации (движение, деформация, приведение в действие) в таких устройствах могут быть сведены к следующим: электростатический, магнитный, пьезоэлектрический, гидравлический и тепловой. Наиболее перспективными методами считаются пьезоэлектрический и гидравлический, хотя и другие имеют важное значение. Электростатическая активация применяется примерно в одной трети актюаторов, и, вероятно, это наиболее общий и хорошо разработанный метод, его главные недостатки это износ и слипание. Магнитные актюаторы обычно требуют относительно большой электрический ток (т.е. много энергии), также на микроскопическом уровне при использовании электростатических методов активации, получаемый выходной сигнал на относительную единицу размерности лучше, чем при использовании магнитных методов, т. е. при одном и том же размере электростатическое устройство выдаёт более хороший выходной сигнал. Тепловые актюаторы тоже потребляют относительно большое количество электрической энергии, и главный их недостаток в том, что генерируемое тепло рассеивается. В настоящее время разрабатываются микроактюаторы, основанные на эффекте памяти формы, которые могут быть минитюаризированы до субмикронных размеров.

При изготовлении и эксплуатации МЭМС встречается масса особенностей и проблем, обуславливаемых малыми размерами – например проблема сухого трения, или опасность поломки из-за сил поверхностного натяжения. Поэтому проектирование микросистем чрезвычайно важный процесс. Существует довольно много специальных **программных средств**, которые позволяют моделировать МЭМС устройства.

Законы пропорциональной миниатюризации

При изучении микросистем последствия пропорционального уменьшения размеров представляют особый интерес. То есть принимается, что все размеры и углы остаются в фиксированном соотношении друг с другом, а изменяется только масштаб длины, например, предположим изометрический масштаб. Механические процессы описываются соответствующими характеристическими числами, которые должны остаться постоянными, для того чтобы процессы остались такими же. Некоторые характеристические числа зависят от размера системы, а другие независимы от него. Здесь представлены только некоторые характеристические числа, которые особенно интересны для применения в микросистемах.

Число Коши (упругие колебания)

Число Коши [Формула 1 (Рис.36)] определяет соотношение инерционных сил и сил упругости в твёрдом теле, оно характеризует движение или вибрацию. Число Коши зависит только от квадрата длины L и частоты колебаний ω , а также от свойств материала (от плотности - ρ и модуля Юнга - E). При упругой вибрации, это, следовательно, подразумевает, что масштаб частоты колебаний обратно пропорционален длине. Из этого следует, что механические микросистемы обладают очень высокими собственными частотами. Хотя собственные частоты ограничивают рабочий диапазон, миниатюризированные системы проявляют значительно улучшенные динамические характеристики и более низкое время реакции.

Число Вебера (инерция, поверхностное натяжение)

Число Вебера [Формула 2 (Рис.36)] определено, как соотношение инерционных сил и поверхностного натяжения. Где u - это скорость, ρ - плотность и σ_s - поверхностное натяжение, для воды значение $\sigma_s = 0,073$ Н/м. Для больших чисел Вебера инерционные силы играют главенствующую роль, в то время как для маленьких чисел Вебера силы поверхностного натяжения значительны. Число Вебера имеет значение при формировании волн на свободных поверхностях, для потоков жидкости в капиллярах и каналах, а также в формировании капелек.

Число Вебера связывает силу поверхностного натяжения с объёмными силами. При небольших размерах силы, связанные с поверхностью, доминируют.

Число Фурье (переходный процесс при переносе тепла)

Число Фурье [Формула 3 (Рис.36)] указывает на соотношение между накопленной энергией и проведённой тепловой энергией. Оно определяет степень проникновения и распространения тепла в случае переходного процесса при переносе тепла через коэффициент теплопроводности λ , удельную теплоёмкость c_p и плотность ρ . Число Фурье обратно пропорционально квадрату длины L и прямо пропорционально времени. Для $F_0 < 1$ тело имеет однородную температуру и переходной эффект не имеет значения. В микросистемах, тепловые актюаторы достаточно быстры для того, чтобы выполнить механическую функцию. Актюаторы макродиапазона слишком медленны из-за своей тепловой инерции.

Число Фруда (механика, конвекция, механика жидкости)

Число Фруда [Формула 4 (Рис.36)] имеет важное значение для всех динамических перемещений в гравитационном поле. Оно характеризует соотношение между инерционными силами и силами гравитации (вес) в зависимости от скорости v , ускорения из-за силы тяжести g и масштаба длины L . При больших значениях числа Фруда эффектом силы тяжести пренебрегают, в то время как при малых значениях числа Фруда можно пренебрегать силами инерции. Так как число Фруда обратно пропорционально величине длины, эффект гравитации уменьшается при уменьшении размеров. Действительно маленькие животные и микроорганизмы используют более высокую частоту шага, чем люди или большие животные.

Критерии оценки микроактюаторов

Для оценки качества микроактюаторов используются следующие показатели:

- **Линейность** определяет линейность выходного сигнала как функцию входного. Определяется как максимальная разница между опорной линейной линией и выходом актюатора. Выражена как процент полного выхода.
- **Точность** - насколько точно и воспроизводимо выполнена искомая активация.
- **Погрешность** определяет разность между реальным перемещением и целевым.
- Для **разрешения** имеется три определения:
 1. Наименьший обеспечиваемый шаг.
 2. Наименьшее приращение входа, приводящее к обнаружению активации.
 3. Наименьший определяемый шаг.
- **Воспроизводимость** - отклонение выходного сигнала по циклам работы
- **Гистерезис** - это разница между выходным сигналом актюатора Y , когда Y получают в двух противоположных направлениях.
- **Пороговое значение** - начиная с нулевого входного сигнала, наименьшее начальное приращение входа, которое приводит к обнаружению выходного сигнала актюатора.
- **Холостой ход** – “мертвый” ход после смены направления ("b").
- **Шум** - флуктуации (случайные изменения) в выходном сигнале с нулевым входом.
- **Дрейф** - изменение выходного сигнала актюатора (с постоянным входом) в зависимости от изменения времени, температуры и т.д.
- **Амплитуда** - полный рабочий диапазон выходного сигнала актюатора.
- **Чувствительность** - отношение изменения выходного сигнала актюатора ΔY к изменению приращения входного сигнала ΔX .
- **Скорость** - скорость, с которой изменяется выходной сигнал актюатора.
- **Переходная характеристика** - резкое изменение выходного сигнала актюатора в ответ на ступенчатый входной сигнал.

- **Ранжирование** - оценка для сопоставления разных методов активации: $DS = -(\frac{d\eta}{dV})$, где η - выход по энергии, V - объём.

Трение и износ

Правила пропорциональной миниатюризации приводят к факту, что на микроуровне поверхностные силы по сравнению с объёмными имеют большее значение. Из этого следует, что для микроактюаторов трение имеет очень большое значение. Кроме того, из-за своей маленькой массы микромеханические элементы обладают малой силой инерции, что ведёт к высоким динамическим характеристикам, и следовательно они часто работают с высокой рабочей частотой и скоростью.

С одной стороны трение ведёт к потерям, которое является причиной ухудшения функционирования элементов, с другой стороны трение приводит к износу, который негативно воздействует на функциональное поведение и ведёт к ускоренному старению и, в конечном счёте, поломке компонента. Трение является ключевым фактором, который определяет не только эффективность, но и долговечность. Однако трение не всегда сопровождается износом, возможно трение и без износа.

Трение - это явление, воздействующее на поверхностный слой материала, и практически не затрагивающее объёмные характеристики. Это результат взаимодействия контактных областей поверхностей. Важные факторы, влияющие на величину трения: состояние поверхности, поверхностная топология и взаимодействующие материалы. По сравнению с традиционным машиностроением в микросистемах появляется трение твёрдых тел (сухое трение). Для микромоторов сила поверхностного натяжения настолько велика, что существенно влияет на их функционирование. Поэтому в качестве подшипников скольжения используют подшипники сухого трения, которые, однако, могут быть снабжены молекулярными смазочными плёнками для уменьшения трения и износа. В этом случае характеристики смазки и контактной поверхности становятся главными факторами. Характеристики материалов для смазочных плёнок молекулярной толщины изменяются. Следует заметить, что на сегодняшний день ещё не существует общепринятых методов применения молекулярных плёнок толщиной в несколько нанометров. В этом случае шероховатость поверхности имеет более высокую важность, чем толщина используемой в микросистемах плёнки, которая лежит в пределах от нескольких десятков до нескольких сотен нанометров.

Классическая инженерная модель макроскопического трения имеет следующие существенные характеристики:

1. Сила трения зависит только от нормальной силы F_N и всегда действует в направлении противоположном направлению движения.
2. Сила трения не зависит от величины поверхности соприкосновения.
3. Сила трения не зависит от скорости скольжения.
4. Сила трения покоя всегда больше силы трения движения.
5. Силы трения зависят только от двух материалов, которые скользят друг по другу.

Следующая формула, названная законом Кулона – Амонтона, выражает эти соотношения: $F_t = \mu F_N$, где F_t и F_N - это тангенциальная и нормальная составляющая силы и μ - кинетический коэффициент трения. Некоторые коэффициенты сухого трения скольжения μ для различных комбинаций материалов представлены в таблице.

материал	μ	материал	μ
алюминий/алюминий	1,0-1,4	тефлон/сталь	0,04
никель/никель	0,53-0,8	Al_2O_3/Al_2O_3	0,4

сталь/сталь	0,42-0,57	кремний/Al ₂ O ₃	0,18
алмаз/алмаз	0,1-0,15	сталь/сапфир	0,15
медь/медь	1,2-1,5	никель/вольфрам	0,3

Любая поверхность имеет неровности и поверхностную волнистость, что приводит к тому что фактическая область контакта состоит из отдельных контактных точек. Точки контакта или неровности составляют только малую долю общей площади поверхности, зависящую от нагрузки.

Так как исключительно точки контакта вносят вклад в генерацию силы, напряжение в точках контакта соответственно высоко, и предел текучести материала σ_m может быть достигнут при относительно малых силах. В пределах контактных точек происходят эластичные и пластические деформации, посредством чего общая суммарная площадь контакта A становится прямо пропорциональной давлению и обратно пропорциональной пределу текучести, $A = p / \sigma_m$. В контактных областях силы межуатомного взаимодействия действуют между смежными участками вещества, которые противостоят касательному напряжению σ_s . В этом случае силы трения переносятся только в область контакта. Таким образом, сила трения становится пропорциональной фактической площади контакта, и коэффициент трения находится по формуле $\mu = \sigma_s / \sigma_m$. Эта модель даёт возможность объяснить трение Кулона, так как трение становится пропорциональным нагрузке, и не зависит от кажущейся площади. Сумма точек области находящихся в реальном контакте возрастает с увеличением нагрузки, из-за вовлечения большей области в адгезионное взаимодействие деформацией. Модель также объясняет, почему различные поверхности материалов имеют различный коэффициент трения - атомные поверхности имеют разные межмолекулярные связи. Некоторые применения этой идеи могут подтвердить вывод о том, что грубые поверхности могут иметь меньшее трение, чем очень хорошо отполированные, поскольку большая часть поверхности находится в контакте. Главная роль смазки - держать поверхности раздельно.

Износ, который сопровождает трение, отчасти можно представить в виде следующей картины. Внутри точек контакта происходит сильная нагрузка на материал, которая приводит к пластическим деформациям с одной стороны и с другой стороны, из-за слипания точек контакта, к формированию трещин на поверхности контактирующего материала и в результате к необратимым изменениям. Для износа характерны следующие механизмы:

- Адгезия (слипание)
- Абразивный износ (стирание)
- Эрозия из-за разрыва оксидных покрытий
- Усталость.

Вследствие адгезии может осуществляться перенос вещества между точками контакта и происходит искажение кристаллической решетки. Силы адгезии увеличиваются для веществ, которые имеют большее взаимное адгезивное сходство или химическую растворимость, создавая больший износ при контакте похожих поверхностей, чем при разнородных. Идеальным для предотвращения трения является материал, который сопротивляется образованию химических связей со множеством других материалов. Эта химическая инертность найдена в некоторых материалах, таких как тефлон. На атомном уровне было определено, что сухое трение иногда меньше, чем жидкое, потому что жидкость предоставляет больший фактический контакт между поверхностью и жидкостью, что приводит к гораздо большему адгезионному трению. Текстурирование может быть прежде всего использовано для уменьшения стикции (слипания) и трения покоя, так как более нерегулярные поверхности имеют меньшую стикцию. Текстурирование также может оказывать некоторую помощь смазочному материалу.

Различные типы микроактюаторов

Преобразование энергии

Цель микроактивации - это получение силы, которая могла бы производить механическое перемещение. Следовательно, разные принципы получения активации могут быть оценены согласно их работоспособности, т. е. возможности использования механической энергии. По сравнению с электромагнитным преобразованием энергии, которое преобладает в традиционной инженерии двигательных механизмов, в микроактивации можно использовать множество разнообразных принципов, которые не имело смысла использовать по функциональным или по ценовым характеристикам в макротехнологии.

Начнём с фундаментального отношения: изменение накопленной энергии системы W является причиной появления силы F :

[Формула 5 (Рис.36)]

Если запас энергии изменяется между двумя состояниями W_1 и W_2 , мы получаем:

[Формула 6 (Рис.36)]

Если в дальнейшем предположить, что одно из двух состояний энергии равно нулю, тогда получаемая сила становится прямо пропорциональной накопленной энергии: $F \sim W$.

По этой причине, накопленная энергия и/или плотность энергии имеет ключевое значение для оценки работоспособности любого актюатора. Так как любое преобразование энергии связано с потерями, то и работоспособность также пропорциональна коэффициенту полезного действия η , с которым одна форма энергии может быть преобразована в другую. Мощность и работоспособность системы характеризуется также временем, которое необходимо для получения и израсходования запаса энергии. Этот временной интервал может быть оценен по временной константе, которая является характерной для конкретного принципа активации. Решение, какой принцип активации использовать, должно приниматься, учитывая достижимую плотность энергии, скорость изменения состояния (временная константа τ) и эффективность использования энергии η . В зависимости от этих величин мощность системы можно выразить следующим образом:

[Формула 7 (Рис.36)]

Следует заметить, что запас энергии увеличивается с увеличением объёма, таким образом, мы имеем третью степень величины, которая характеризует размер λ , (например, m^3) а когда мы имеем дело с силой, то у нас вторая степень (m^2). Однако, так как в некоторых важных случаях достижимая плотность энергии также зависит от размера, то эта зависимость - третья степень величины характеризующей размер - не всегда правильна. Для микросистем это приводит к такому важному факту: станут привлекательными для использования те принципы преобразования энергии, которые не соответствуют макродиапазону. Вообще связь между силой и величиной характеризующей размер может быть описана соотношением $F \sim \lambda^n$. Типичные значения показателя степени n для разных принципов преобразования энергии сведены в таблице.

Эффект	Плотность энергии [Вт*с/м ³]	Пересчёт силы $F \sim \lambda^n$ с $n=$	Константа времени [мс]	КПД η
Пьезоэлектрический	$2 \cdot 10^5$	2	<< мех	0,3
Электромагнитный	10^5	от 2 до 4	<< мех	<0,01

Электростатический	10^4	2	\ll мех	0,5
Биметаллический	10^6	2	<50	10^{-4}
Термопневматический	$<5 \cdot 10^5$	2	10	0,1
Сплавов, запоминающих форму	$3,5 \cdot 10^5$	2	<50	0,01

Перечисленные принципы отличаются по достижимой плотности энергии, временной константе, и по выходу энергии. Эти соотношения определяют достижимую силу и плотность энергии. Типичная плотность энергии для основных принципов преобразования, используемых сегодня, лежит внутри диапазона $w=10^5-10^6 \text{Вт} \cdot \text{с}/\text{м}^3$. Однако, так как быстродействие, выраженное через временную константу, отличается сильно, то плотность энергии $w/$ изменяется в более широком диапазоне, от $10^{-6}-10^0 \text{Вт}/\text{см}^3$. Гидравлические и пневматические актюаторы достигают самой высокой плотности энергии, можно даже сказать, что не существует в микродиапазоне актюаторов с более высокой плотностью энергии. Годную к использованию механическую энергию получаем из произведения плотности энергии и коэффициента полезного действия. Эффективность (КПД) зависит от принципа действия и размера, следовательно, в микродиапазоне некоторые принципы активации имеют одинаковую работоспособность.

Электростатические актюаторы

Для плоского конденсатора накопленная энергия U может быть рассчитана по формуле [Формула 8 (Рис.36)], где C -ёмкость и V -напряжение между обкладками конденсатора.

Когда пластины конденсатора перемещаются навстречу друг другу, работа, совершаемая силой взаимодействия между ними, может быть рассчитана, как изменение U в зависимости от изменения расстояния (x). Сила рассчитывается по формуле [Формула 9 (Рис.36)]

Существует несколько вариантов реализации электростатических актюаторов на основе плоскопараллельных конденсаторов:

Однако для генерации больших сил, которые будут совершать полезную работу такого устройства, необходимо, чтобы при изменении расстояния сильно изменялись ёмкости. Это и есть руководство к действию для получения электростатических гребневых микродвигателей (рис.5).

Гребневые микродвигатели состоят из большого количества встречностержневых штырей (рис 5). При приложении напряжения, появляется сила взаимодействия между штырями, и они начинают двигаться. Увеличение ёмкости пропорционально количеству штырей, таким образом, для генерации больших сил, требуется большое количество штырей. Одной из потенциальных проблем такого устройства будет то, что если поперечное расстояние между штырями не одинаково с обеих сторон, (или если устройство поломано), то возможно движение штырей под прямым углом к правильному направлению и соединение их друг с другом. Гребневые двигатели особенно распространены среди устройств, полученных поверхностной микрообработкой.

Двигатели качения названы так по действию раскачивания, положенному в основу их принципа работы. На рис 6(а,б) показана конструкция двигателя качения, полученного при помощи технологии поверхностной микрообработки. Ротор - это круглый диск. Во время работы снизу расположенные электроды последовательно, друг за другом, включают и выключают. Диск последовательно притягивается к каждому электроду; край диска контактирует с диэлектриком, расположенным над электродами. В такой манере он медленно вращается по кругу; делая один оборот вокруг своей оси совокупностью нескольких изменений напряжения на статоре.

Другая конструкция двигателя качения представлена на рис 7. Ротор, находящийся внутри статора, формирует ось двигателя. Электрическое поле раскачивает ротор внутри статора, и трение вращает ротор. Проблемы могут возникнуть, если быстро изнашивается изоляция на

электродах статора, если произойдёт сцепление или слипание с ротором, если ротор и подшипник не круглые.

Проблема моторов полученных поверхностной микрообработкой - это их очень маленькие вертикальные размеры, поэтому так трудно достичь большого изменения ёмкости при движении ротора. Для преодоления этих проблем можно использовать **LIGA** технологию. Мотор, изготовленный по этой технологии, показан на рисунке б(с,d) - здесь цилиндрический ротор вращается вокруг статора.

1) Преимущества:

- выгодность пропорционального уменьшения размеров
- лёгкость миниатюризации

2) Недостатки

- для большинства электростатических актюаторов частицы пыли и поверхностные дефекты могут быть причиной поломки вследствие малых воздушных зазоров
- высокое напряжение
- для двигателей вращения малый вращающий момент и короткий срок жизнедеятельности из-за трения.

Магнитные актюаторы

Прежде всего следует сказать, что довольно часто микроустройства изготавливают при помощи гальванотехники, используя никель (это особенно характерно для **LIGA** технологии). А так как никель это ферромагнитный материал, то это стало первопричиной появления магнитных актюаторов.

Основным компонентом большинства актюаторов этого типа является тонкоплёночная структура пластины, которая поддерживает электролитический пермалловый участок, генерирующий механическую силу и вращающий момент при условии помещения его в магнитное поле. Как структурные пластины, так и поддерживающие балки сделаны из поликристаллических тонких плёнок. Механизм активации проиллюстрирован на рис 8. Когда внешнее магнитное поле равно нулю структурная пластина параллельна плоскости подложки. Когда внешнее магнитное поле $H_{внеш}$, приложено нормально к плоскости структурной пластины, внутри пермаллового участка возникает вектор намагниченности M и он впоследствии взаимодействует с $H_{внеш}$. Взаимодействие создаёт вращающий момент ($M_{маг}$) и небольшую силу, воздействующую на свободный конец консольной балки при этом заставляя её изгибаться.

При приложении внешнего подмагничивания, пермалловый материал рассматривается как материал, имеющий постоянный плоскопараллельный вектор намагниченности с величиной равной намагниченности насыщения $M_{нас}$. При помещении во внешнее магнитное поле генерируется две компоненты силы. Величина обеих, как F_1 (которая действует на верхнюю грань), так и F_2 (которая действует на нижнюю грань) рассчитывается следующим образом:

$$F_1 = M_{нас} \times W \times T \times H_1$$

$$F_2 = M_{нас} \times W \times T \times H_2,$$

где H_1 и H_2 напряжённость магнитного поля на верхней и нижней грани пластины (в текущей конфигурации $H_1 < H_2$). Величина H_1 и H_2 линейно зависит от соответствующего расстояния до поверхности электромагнитного источника. Пластина вместе с пермалловым участком рассматривается как твёрдое тело так как она существенно толще консольной балки. Основываясь на этом предположении систему сил, упрощают, перемещая F_1 до совмещения с F_2 . Результатом является вращающий момент, действующий против часовой стрелки и сосредоточенная сила, воздействующая на нижнюю грань структурной пластины. Этот результат можно представить как:

$$M_{\text{mag}} = F_1 \times L \times \cos\theta$$

$$F = F_2 - F_1$$

Вращающий момент всегда стремится уменьшить полную энергию в системе актюатора, выравниванием вектора намагниченности с силовыми линиями внешнего магнитного поля.

Фотография магнитного микроактюатора, полученная на сканирующем электронном микроскопе, представлена на рис. 9 (а-вид сверху, b-в перспективе).

Примером магнитного микроактюатора другой конструкции может служить линейный мотор, показанный на рис 10. Магнит, расположенный в канале, движется взад-вперёд при переключении тока в обмотках, то с одной, то с другой стороны канала.

Общая проблема, связанная с магнитными актюаторами, заключается в том, что обмотки двумерны (трёхмерные обмотки очень тяжело изготовить на микроуровне). Вдобавок ограничен выбор магнитного материала - выбираются только те материалы, которые легко обработать на микроуровне, и получается, что не всегда материал магнита выбирается оптимально. Во многом из-за этого магнитные актюаторы потребляют большое количество энергии и рассеивают много тепла. Следует отметить, что для изготовления микроскопических компонентов (размером до нескольких миллиметров) электростатические устройства обычно выгоднее магнитных, однако при более больших размерах магнитные устройства превосходят электростатические.

Пьезоэлектрические актюаторы

В основе теории пьезоэлектрических актюаторов лежит прямой пьезоэлектрический эффект - появление электрических зарядов разного знака на противоположных гранях некоторых кристаллов при их механических деформациях: сжатии, растяжении и т. п и обратный пьезоэлектрический эффект - состоит в деформации этих же кристаллов под действием внешнего электрического поля. Основная формула для прямого эффекта:

[Формула 10 (Рис.36)],

для обратного:

[Формула 11 (Рис.36)],

где D_i - вектор электрического смещения, E_j - напряжённость электрического поля, E_k - относительная деформация, σ_k - механическое напряжение. Основными параметрами являются: d_{ik} - пьезоэлектрические коэффициенты, S_{ik} - коэффициенты упругой деформации, коэффициенты диэлектрической проницаемости ϵ_{ik} .

На рис. 11 показано два простых примера, демонстрирующих принцип действия пьезоэлектрических актюаторов. На рис. 11-а слой пьезоэлектрика осаждён на балку. При приложении напряжения балка изгибается. Такой же принцип можно применить и с тонкой кремниевой мембраной (рис. 11-б). Если приложить напряжение, мембрана деформируется.

Наибольшую популярность имеют следующие конструкции пьезоэлектрических

Микроактюаторов(Рис. 35).

Гидравлические актюаторы

Гидравлические микроактюаторы имеют значительный потенциал, так как они могут передавать довольно много энергии от внешнего источника по очень узким трубкам. Это факт можно использовать в таких местах как наконечник катетера, смонтированного микрохирургического инструмента.

Для производства микротурбин может использоваться LIGA технология (рис12). Эта микротурбина обеспечивает энергией режущий микроинструмент.

К особенностям гидравлических микроактюаторов можно отнести то, что он имеет довольно большие размеры, высокий уровень выходных сил и может иметь крайне низкое трение.

Тепловые актюаторы

Тепловые актюаторы используют как линейное или объёмное расширение жидкости или газа, так и деформацию формы вследствие биметаллического эффекта, которые имеют место благодаря изменению температуры. Рассмотрим биметаллический актюатор. На рис. 13 вы видите балку из одного материала (кремний), и слой из другого материала (алюминий). Коэффициент теплового расширения у них разный. При нагревании, один материал расширяется быстрее, чем другой, и балка изгибается. Нагревание можно производить, пропуская через это устройство электрический ток.

Тепловые актюаторы могут создавать относительно большие силы, но нет конструкции которая бы позволяла это сделать с позиции эффективного использования энергии. Результат улучшается при увеличении разницы между коэффициентами теплового расширения и при большом изменении температуры, однако достигаемое КПД всё равно остаётся относительно маленьким. Газы и жидкости имеют намного больший коэффициент теплового расширения, чем твёрдые тела, и это можно использовать в термопневматических микроактюаторах. На рис. 14 показан резонатор, внутри которого находится жидкость, с тонкой мембраной в роли нижней стенки. Через нагревательный элемент (резистор) пропускается ток. Жидкость нагревается и начинает расширяться, деформируя мембрану.

Преимущества тепловых микроактюаторов:

1. Простая конструкция, рабочими элементами являются резистор нагрева и для использования биметаллического эффекта плёночная структура.
2. Подходящий размер, лежащий в микродиапазоне.
3. В качестве активных элементов применимы почти любые материалы, которые кроме различных коэффициентов расширения должны обладать достаточной прочностью. Обычно в качестве нагревателя используются резисторы извилистой формы, которые можно легко изготовить с использованием тонко- или толстоплёночной технологии.

Недостатки:

1. В настоящее время нагревательный элемент потребляет очень много энергии для того, чтобы тепловой актюатор смог развить относительно большую силу, т.е. у тепловых актюаторов невысокий КПД.
2. Нагревательный элемент необходимо охлаждать, чтобы вернуть актюатор в исходное положение, а значит тепло должно быть рассеяно в окружающую среду. Это естественно занимает некоторое количество времени и ограничивает быстрдействие.

Изготовление МЭМС

Проектирование микросистем

Так как проектирование МЭМС почти на всех своих фазах автоматизировано, то сосредоточим своё внимание на методологиях, алгоритмах, методах описания и моделирования, используемых при автоматизированном проектировании. Всё вышеуказанное объединяется в ёмкое понятие CAE - Computer Aided Engineering. Специфические характеристики и различия между проектированием, производством и применением микросистем по сравнению с традиционными (макро) реализациями вытекают из их размеров.

Микросистемная технология непригодна для производства опытных образцов. Если схема производства для массового производства по групповой технологии нарушается, то это влечёт за собой дополнительные расходы. Поэтому производство опытного образца следует избегать настолько, насколько это возможно. Кроме высокой стоимости производства опытного образца для выполнения производственного цикла требуется очень большое количество времени. В зависимости от сложности, цикл занимает несколько дней, недель или даже полгода. За то же самое время огромное количество вариантов конструкции может быть проверено при помощи моделирования.

Проектирование включает в себя высокую ценовую ответственность за каждый следующий шаг в жизненном цикле изделия. В типичном цикле изделия:

- а) Планирование проекта;
- б) Проектирование;
- в) Производство;
- г) Сбыт;
- д) Сервисное обслуживание;
- е) Утилизация,

проектирование существенно влияет на стоимость следующих шагов, хотя прямые издержки на проектирование относительно малы. Обычно издержки на проектирование это 10 % от общей стоимости, хотя оно несёт ответственность за 70-80% общей стоимости.

В отличие от традиционных систем, возможность ремонта микросистем и особенно интегральных схем очень ограничена. Таким образом, главная цель при разработке состоит в том, чтобы получить полностью функционирующую систему в первой же реализации. Хотя типичная интенсивность отказов относительно высока (около 10%), контролируемость системы также является важной задачей при проектировании.

На сегодняшний день микросистемы состоят из отдельных компонентов, таких как сенсоры и актюаторы, которые интегрированы и упакованы вместе с управляющей и вычислительной электроникой. МЭМС отличаются разнообразием применений. Для проектирования, таким образом, возникает вопрос, в какой степени отдельные этапы проектирования могут быть стандартизированы и автоматизированы. Взаимосвязь между задачами проектирования и моделирования представлена на рис. 15.

Не все шаги могут быть автоматизированы одинаково. В особенности концептуальное проектирование и разработка принципов действия, которые основаны на творческой способности разработчика и, следовательно, не могут быть стандартизированы. А творческую способность можно только в небольшой степени поддержать средой проектирования.

Материалы для МЭМС

При создании микросистем, фактически, выделяют две группы материалов:

1. Конструкционные (стекло, монокристаллический, поликристаллический, пористый кремний, диоксид и нитрид кремния, полиимид, вольфрам, никель, медь, золото, алмазо-подобный углерод), использующиеся для формирования:

- несущих конструкций;
- токоразводки;
- смазки.

2. "Активные умные" (никель/титан, пермаллой, кварц, окись цинка, пьезокерамика, материалы группы A^3B^5 , A^4B^6), выполняющие за счет электростатических, электромеханических, пьезоэлектрических, магнитных, оптических явлений и эффекта памяти формы функции:

- источников движения;
- механизмов передачи движения;
- сенсорных и активирующих сред.

При создании микросистем различного функционального назначения на основе композиций разнородных материалов должны учитываться следующие параметры:

- кристаллохимическая совместимость;
- термомеханическая совместимость;
- тепловая стойкость (допустимая тепловая нагрузка, учитывающая температуру Дебая, точку Кюри, а для полупроводников и температуру перехода в состояние, когда концентрация собственных носителей заряда близка к примесной; способность вещества отдавать энергию в окружающую среду за счет теплопроводности, а при высоких температурах и за счет теплоизлучения);
- электрическая стойкость;
- механическая стойкость;
- механическая усталость.

Мировой опыт изготовления MEMS основан на широком использовании кремния – дешевого и доступного материала. Однако технологий кремниевой микромеханики и обработки информации на кремнии (КМОП-схемы), недостаточно для успешного развития МЭМС. Поэтому большое значение имеют системы, в которых наряду с кремнием и другими полупроводниковыми материалами используются полимеры, керамика, металлы.

В классической микроэлектромеханике, ориентированной на базовые кремниевые микротехнологии в настоящее время господствует структура "кремний на диоксиде кремния". Учитывая тот факт, что микросистемы представляют собой сложные гетерогенные композиции, требующие сочетания совокупности разнородных материалов, и с учетом возможных особенностей их функционирования (высокие температуры, агрессивные среды, радиация), несомненный интерес в качестве базовой материаловедческой среды представляет композиция "карбид кремния на нитриде алюминия". Данная композиция сочетает в себе два широкозонных материала, один из которых – нитрид алюминия – является ярко выраженным диэлектриком (6,2 эВ) и обладает хорошими пьезоэлектрическими свойствами, а другой – карбид кремния (3,0 эВ) – широкозонный полупроводник. Оба материала оптически активны, в том числе в ультрафиолетовой области спектра, имеют высокую теплопроводность и температуру Дебая, характеризующую стойкость материала к внешним воздействиям (термическим, химическим, радиационным).

Технологии производства МЭМС

Для изготовления микросистем главным образом используется групповая технология. При использовании подобной технологии одновременно обрабатывается большое количество элементов, при чём ручное вмешательство либо вообще не требуется, либо оно незначительно. Например, осаждение плёнок, оптическая литография, гальваника или травление. Многие из этих технологий были развиты в полупроводниковой технологии.

Так как микросистемы имеют крошечные размеры, издержки на материалы малы, а это означает, что производственные затраты низкие, несмотря на то, что накладываются особые требования на необходимую чистоту материалов. Стоимость заводов по производству высока. Производственное оборудование требует о чень высокой точности (чистое помещение, покрытие...). Кроме того, высоких издержек требуют обслуживание и контроль (например, управление производственным процессом, контроль над нанесением покрытия).

В настоящее время существует несколько базовых технологий производства МЭМС, составной частью которых, в том числе, являются микроактюаторы.

Кремниевая объёмная микрообработка.

Под кремниевой объёмной микрообработкой понимают технологию глубинного объёмного травления, при чём травление может быть как жидкое химическое анизотропное, так и плазменное.

Сухое травление.

Сухое травление - это метод селективного удаления не маскированных участков поверхности. Особенности процесса заключаются в том, что этот процесс можно комбинировать с технологией тонких плёнок и с технологией КМОП. Также посредством физико-химического травления контролируется профиль травления.

Параметры процесса	Преимущества	Недостатки
1.Параметры плазмы: состав газа напряжение смещения температура подложки плотность плазмы давление процесса	1.Осмысленно получаемое горизонтальное изображение.	1.Обработка пластин по отдельности.
2. Маскирование полимерами и тонкими плёнками: - термически SiO ₂ , - химическим осаждением из паровой фазы при пониженном давлении SiO ₂ или Si ₃ N ₄ -нанесение фоторезиста - металлизация (Cr, Al).	2.Изменяемый профиль	2.Увеличение времени травления.
3. Химическое воздействие: с обратной стороны (мембраны, отверстия) -геометрическая форма определяется шаблоном маски, с передней стороны (консоли, каналы, затворы) - геометрическая форма определяется подтравливанием.	3.Возможно получение рельефных изображений	3.Нет собственного ограничителя травления и определения изображения
4.Газы травителя: SF ₆ - CBrF ₃ при t < 270K SF ₆ - O ₂ при t < 100 K CHF ₃ - O ₂ при t < 100 K CHCl ₃ при t < 270 K.		

Жидкое химическое анизотропное травление

В этом процессе используется то, что разные кристаллографические направления кристалла травятся с разной скоростью (остаётся поверхность с ориентацией 111).

Параметры процесса	Преимущества	Недостатки
1. Ориентация подложки: 111(канавка V-образного сечения)	1. Простой процесс	1. Маскирование для

110(канавка U-образного сечения, не стандартизована)	группового изготовления.	глубинного травления.
2. Маскирование тонкими плёнками: - термически SiO ₂ , - химическим осаждением из паровой фазы при пониженном давлении SiO ₂ или Si ₃ N ₄ - металлизация (Cr) для термомеханической обработки.		2. Ограниченный набор получаемых изображений.
3. Химическое воздействие: с обратной стороны (мембраны, каналы) - геометрическая форма определяется кристаллографическими плоскостями, с передней стороны (консоли, каналы) - геометрическая форма определяется подтравливанием.		3. Проблемы с внешними углами.
4. Процесс группового изготовления ограничен поверхностной реакцией.		

Подробно этапы жидкого химического анизотропного травления представлены на рис. 16.

1. (100 – подложка)
2. p + легирование для получения слоя остановки травителя
3. осаждение эпитаксиального слоя
4. окисление
5. литография и травление SiO₂
6. анизотропное травление

Кремниевая поверхностная микрообработка

Главной особенностью этой технологии является то, что она совместима с полупроводниковой технологией, для микрообработки используется КМОП технология.

Параметры процесса	Преимущества	Недостатки
1. Плазмохимическое осаждение из паровой фазы или химическое осаждение из паровой фазы при пониженном давлении поликристаллического кремния, фосфорокварцевого стекла.	1. Осмысленно получаемая горизонтальная геометрическая форма	1. Уменьшенное отношение ширины канала к длине
2. Маскирование полимерами и тонкими плёнками: - нанесение фоторезиста - термически SiO ₂ - химическим осаждением из паровой фазы при пониженном давлении SiO ₂ или Si ₃ N ₄ фосфорокварцевого стекла.	2. Изменяемый профиль	Сокращение количества материалов
3. Сухое и жидкое термическое окисление.	3. Есть возможность получать свободные структуры	

4. Геометрическая форма определяется маскированием и при травлении.	4. Совместимость с КМОП.	
5. Травление (сухое и жидкое)		

Подробно этапы кремниевой поверхностной микрообработки представлены на рис. 17.

1. Осаждение изолирующего слоя и основы из поликристаллического кремния.
2. Осаждение 1-го жертвенного слоя и формирование исходного рисунка.
3. Осаждение поликристаллического кремния и формирование изображения рисунка статора и ротора
4. Нанесение рисунка на 1-ый жертвенный слой и на 2-ой жертвенный слой
5. Травление жертвенных слоёв и освобождение ротора

LIGA технология

Технология разработана в Германии примерно 30 лет назад. Аббревиатура означает - рентгенолитография, гальваника и формовка. Сущность процесса заключается в использовании рентгеновского излучения от синхротрона для получения глубоких, с отвесными стенками топологических картин в полимерном материале. Излучение синхротрона имеет сверхмалый угол расходимости пучка. Источником излучения являются высокоэнергетические электроны (энергия $E > 1 \text{ ГэВ}$) движущиеся с релятивистскими скоростями. Глубина проникновения излучения достигает единиц миллиметров. Это обуславливает высокую эффективность экспонирования при малых временных затратах. Подробно этапы LIGA технологии представлены на рис. 18.

SIGA технология

Аббревиатура означает - ультрафиолетовая литография, гальваника и формовка. Из особенностей этого процесса можно отметить, что можно управлять шириной профиля и то, что технология совместима с технологией тонких плёнок. Подробно этапы SIGA технологии представлены на рис. 19.

Технология корпускулярно-лучевого формообразования

В настоящее время существуют два направления корпускулярно-лучевого формообразования: локально-стимулированный рост (осаждение или полимеризация) и локально-стимулированное прецизионное травление, в основе которых лежит воздействие на среду или материал концентрированного потока энергии (световые, электронные, ионные пучки) управляемого во времени и пространстве. Традиционной технологией формирования объемного рисунка в стекле, полимерах, керамике является обработка объекта остросфокусированным лазерным пучком (лазерное микрофрезирование).

Данный вид воздействия в зависимости от локально выделяемой мощности ($10^5 - 10^9 \text{ Вт / см}^2$), длительности и скважности воздействия, поглощающей способности обрабатываемого материала и его температуропроводности позволяет осуществлять как процессы модифицирования материалов, так и удаления за счет испарения. Изменение глубины фокуса наряду с вариацией ранее указанных параметров позволяет переходить от поверхностной к объемной микрообработке объектов.

В последнее время за рубежом применительно к решению задач формирования трехмерных микрообъектов интенсифицировались работы в области локального стимулированного роста 3D-структур сложной конфигурации (пружины, клапаны). Существует два основных направления получения объемных микрообъектов за счет лазерной стимуляции:

- лазерное осаждение из газовой фазы (LCVD) [3, 4, 5];
- фотостимулированная полимеризация [6].

Последний вариант получения объемных микрообъектов из полимеров назван микростереолитографией. Осаждение и полимеризация осуществляются слой за слоем и позволяют реализовать разнообразные трехмерные объекты размером до нескольких миллиметров с микронным разрешением.

Достоинствами лазерного формообразования являются:

- возможность реализации операций в открытых не вакуумных системах, что упрощает позиционирование и перемещение объекта;
- возможность работы не только с плоскими (планарными) объектами, но и с заготовками сложной формы, возможность создания сложного рельефа.
- возможность обеспечения высокой степени автоматизации обработки, гибкость процесса и перестраиваемость в реальном масштабе времени;
- возможность осуществлять модифицирование свойств материала, определяющее изменение физико-химических характеристик (например, структуры или фазовый состав, механическую прочность или растворимость).

В качестве недостатков метода лазерного формообразования можно отметить:

- невысокую производительность метода из-за индивидуального характера обработки;
- остаточные явления в материале из-за паразитного воздействия лазерного излучения в зоне обработки и необходимости рассеяния значительной энергии в малых объемах;
- относительно высокую сложность систем пространственного позиционирования пучка и объекта при необходимости иметь микронное пространственное разрешение и высокие скорости обработки;
- ограниченный срок службы дорогостоящих оптических систем при использовании высокоэнергетических воздействий.

Наряду с лазерным формообразованием возможно применение электронной, ионной и плазменной микрообработки. Однако особенности получения фокусировки и позиционирования данных видов воздействий, позволяющих обеспечить субмикронное разрешение, требуют использования вакуумных технологических систем, а также создают существенные ограничения по глубинам обработки в условиях проведения пространственно прецизионных операций.

MUMPs

MUMPs - аббревиатура означает многопользовательская МЭМС технология - это очень известная коммерческая программа, которая предоставляет разработчику рентабельный доступ к поверхностной механической обработке. Эта программа, предлагаемая исключительно Cronos, предназначена для предоставления универсальной микрообработки разным пользователям, которые желают проектировать и изготавливать MEMS устройства. Она начала использоваться в декабре 1992 года. Этот процесс, можно сказать, трамплин, для того чтобы проектировать и проверять опытные образцы МЭМС устройств и ускорять процессы развития изделия. MUMPs - это процесс 3-х слойной поликристаллической поверхностной микрообработки, который успешно сочетает в себе основные стадии более простых процессов.

Волоконная технология

Изделия из стекла с малым поперечным сечением в виде определенной микроструктуры и технология их изготовления известны достаточно давно (микроканальные пластины, рентгеношаблоны из стекловолокна, устройства волоконной оптики). Суть стекловолоконной технологии заключается в спекании пучка стеклянных волокон (полых или сплошных), различающихся избирательностью к травлению по отношению к растворителю, вытягивании этого пучка до требуемого поперечного размера, разрезании вытянутой части пучка на куски и вытравливании затем из куска растворимых волокон. Укладка волокон в пучок осуществляется таким образом, что нерастворимые волокна образуют в сечении пучка структуру (топологию) изготавливаемой микроструктуры в некотором масштабе.

Так как для изделий микромеханики характерно наличие отверстий и поверхностей различных конфигураций, требуется подбор материалов и геометрии волокон. Данные процессы сборки пучка и его вытягивания не являются тривиальными, но позволяют изготавливать детали с минимальными поперечными размерами отверстий до 0,2 мкм при высоте (глубине, длине) от 100 мкм до 1 см.

Особо следует отметить возможность изготовления деталей с винтообразными поверхностями путем скручивания вытянутого пучка вокруг его оси. Такие поверхности, как известно, характерны для винтов, червячных и косозубых колес и принципиально не могут быть реализованы с помощью LIGA-технологии.

Волоконная технология может быть отнесена к групповой технологии, так как однотипные изделия тиражируются в данном случае в составе одного волоконного пучка.

Применение МЭМС

Биомедицинские микроактюаторы.

Микроактюаторы полезно использовать в биомедицине, когда биологическими объектами необходимо управлять на микроскопическом уровне. Кроме того, способность интегрировать много микроактюаторов также просто, как и один, даёт возможность производить сложные микросистемы, способные контролировать много параметров.

Микроманипуляторы.

Для управления клетками, тканями и другими биологическими объектами, микроманипуляторы должны управляться микроактивационными механизмами, способными работать в проводящем растворе. Наилучшие кандидаты - это магнитная, пневматическая, тепловая и сплавов памяти формы активация. Магнитный микроактюатор, показанный на рис. 20, использовался для управления одноклеточным простейшим в солевом растворе. Микроактюатор сплава памяти формы, показанный на рис. 21, способен к сшиванию тканей при эндоскопических хирургических процедурах. Устройства второго поколения, выполненные из полимеров, в настоящее время испытываются на людях.

Субмикроманипуляторы

Сотрудники университета в Нагойе изготовили пинцет и иглу, смонтированные на осях, связанных с несущим основанием методом двухфотонной микростереолитографии (Ti/сапфир лазер, $\lambda=763\text{нм}$ с длительностью импульса 130фс и частотой следования 8МГц). Сначала неподвижную ось и ограничители полимеризовали круговым сканированием лазерного пучка со снижением фокальной плоскости. Затем формировали кольцевую часть ножки пинцета, саму ножку - наращиванием дуг с увеличением радиуса и, наконец, субмикронный наконечник – ряд точек (рис. 22). Примечательно, что в процессе полимеризации детали плавают в смоле, вязкость которой удерживает их на месте. Длина наконечников пинцета 1.8мкм, диаметр 250нм, время их наращивания - 6 мин.

Пинцет приводили в движение с помощью упомянутого лазера, работающего в режиме непрерывной генерации. Авторы подчеркивают, что в отличие от электростатического пинцета, быстро смыкающегося при достижении порогового напряжения, здесь движение ножки пинцета точно контролируется заданным положением фокуса на всей траектории. Точность установки положения пинцета $\sim 15\text{нм}$, а удерживающее усилие пинцета регулируется при перемещении фокуса вдоль ножки в пределах одного порядка фемтоньютон.

Авторы проводят пробы изготовления микромеханизмов с большей свободой перемещений одним сфокусированным лучом. Рис. 23 а,б показывают СЭМ изображение микроиглы с двумя степенями свободы и схему “лазерного привода” (фокус 250нм). Тестировали два вида движения иглы - линейное перемещение на 6.8мкм и вращение со скоростью 34об/мин. Демонстрируется также перемещение микрочастицы в жидкости и насаживание ее на острие иглы (рис. 24). Авторы

готовят совмещение описанных манипуляторов с трехмерными полимерными микрожидкостными системами для применения их в бионанотехнологии, например, в аппаратуре для нанохирургии живых клеток и в системах наноанализа на одиночных молекулах.

Хирургические микроинструменты.

Способности хирургического взаимодействия большинства микроактюаторов с биологическими тканями препятствует их неспособность выдерживать силы порядка 1 мН. Наиболее успешное использование микроактивации в хирургических инструментах - это применение высокомоощных шаговых двигателей и резонансных микроструктур. МЭМС технология может использоваться для увеличения разнообразия возможностей хирургических инструментов (например, микронагреватели, микросенсоры, доставка и извлечение жидкости). Скальпель, управляемый пьезоэлектрическим микроактюатором - это инновационный пример использования МЭМС технологии в хирургических инструментах (рис. 25). Пьезоэлектрический шаговый двигатель позволяет точно управлять положением скальпеля. Используя способность измерять напряжение, испытываемое скальпелем во время резания, можно количественно определять и управлять фактической силой резанья. Ультразвуковой режущий инструмент, изготовленный с помощью объёмной микрообработки - это другой хороший пример использования МЭМС технологии для применения в хирургических инструментах. Пьезоэлектрический материал присоединяется к режущему инструменту для резонирования кончика устройства в ультразвуковой частоте. Только когда устройство приведено в действие оно будет быстро и легко резать даже жёсткие ткани (например застывший глазной хрусталик пациента с катарактой). Устройство, показанное на рис. 26, включает в себя встроенный микроканал через который можно при резании удалять жидкость и хирургические остатки.

Микроиглы

Уменьшение боли, вызванное уколом иглы, важно для борьбы с боязнью этой процедуры пациентом и для его здоровья. Это особенно важно для пациентов страдающих диабетом, которые вводят в себя инсулин по крайней мере один раз в день. Нет никакой неожиданности в том, что самые маленькие иглы теперь предназначены для использования диабетиками (рис. 27 - слева). Микрообработка и МЭМС технология использовалась для производства кремниевых микроигл, которые намного более острые, чем существующие иглы (рис. 27 - справа).

Микрофильтры

Процесс используемый для производства обыкновенных фильтров, способных отбирать объекты микроуровня, неприменим из-за широкого статического разброса размеров объектов, которые могут проходить через фильтр. Микрообработка и МЭМС технология используется для создания фильтров, которые точно и однородно обработаны, и в которых значительно снижен статистический разброс проходящих объектов (рис. 28).

Микроклапаны

Было изготовлено несколько различных типов микроклапанов, в том числе и обычные клапаны открытия и закрытия для управления газами или жидкостями. Лидер по коммерциализации микроклапанов это Redwood Microsystem. Они разработали много разных клапанов, но каждый имеет много общих характеристик. Прежде всего одинаков механизм активации, используемый в каждом клапане - небольшое количество инертной жидкости нагревается встроенным резистором до тех пор, пока не будет вызвано фазовое изменение, которое вызовет довольно большую силу (рис. 29). Хотя процесс микропроизводства, который точно улавливает жидкость внутри микрокавины, далеко не тривиален, такие микроклапаны можно коммерциализировать. Эксплуатационные показатели микроклапанов выгодно отличаются от макроскопических соленоидальных клапанов. В частности микроклапаны обычно работают быстрее и имеют более длинный эксплуатационный срок службы, чем клапаны макроуровня. Свои микроклапаны также разработали компании TiNi, HP и NovaSensor. Так как микроклапаны обычно управляются тепловыми актюаторами, их расход энергии всё ещё довольно высок (0,1-2,0 Вт). Необходимо проявлять осторожность для предотвращения превышения температуры клапана, допускаемой средствами управления газами и жидкостями.

Микронасосы

Для управления микронасосами используются следующие виды микроактивации: электрические, магнитные и пьезоэлектрические. Первый пример это миниатюаризированный насосный механизм, который состоит из микромеханизмов, изготовленных по LIGA технологии, которые приводятся в действие магнитной силой. Он коммерциализирован MEMStek Products. Второй пример - это электростатически управляемый электронасос, полученный соединением множества, изготовленных по технологии объёмной микрообработки, кремниевых подложек вместе. Процесс соединения создаёт насосную полость с деформируемой мембраной и двумя односторонними запорными клапанами (рис. 30).

Группа из Калифорнийского университета представила недавно магнитный микромотор, производящий вращение свободного ротора в растворе с помощью статора, находящегося вне жидкости и состоящего из трех магнитомягких микрозондов с обмотками (рис.31). Получена скорость вращения ротора до 250об/мин, ограниченная темпом переключения каналов компьютером. Скорость может быть значительно выше как следствие малой массы и момента инерции вращения ротора, а также малой индуктивности зондового узла.

Всеобщая чувствительная сеть - “Умная пыль”

Агентство перспективных разработок МО США запустило новую Программу “Умная пыль”, нацеленную на создание крохотных устройств, способных генерировать энергию, чувствовать (самые различные сенсоры) и общаться между собой и с внешним миром. В сочетании они должны будут образовать всеобщую чувствительную сеть. На рис. 32 показаны микросхемы, подобные которым будут использоваться при создании умной пыли.

Множество "умных" пылинок может незаметно осесть на объект, взаимодействовать друг с другом и передавать информацию о состоянии объекта на центральный пульт управления.

Наноробот с десятицентовую монету

И другой перспективный американский проект, использующий микросистемные технологии: исследовательская группа, занимающаяся созданием электронных устройств и нанороботов, заявляет о создании нанороботов размером с монету (рис. 33, 34) (терминология авторов, корректнее было бы называть это устройство микророботом, или даже минироботом), которые способны производить десять тысяч движений в минуту. Проект называется NanoWalker и разрабатывается на базе лаборатории биотехнологий при Институте Технологий Массачусетса. Первая и главная особенность этих нанороботов состоит в том, что они уже сейчас способны передвигаться автономно — то есть "бежать и чинить" без проводов. Вторая особенность — это скорость перемещения роботов. Большинство существующих нанороботов далеки от совершенства: они не только вынуждены работать там, где их поместили, но, если и передвигаются, то делают это крайне медленно — одно движение в секунду (о размерах, правда, речь не идет – а между тем существуют роботы нанометровых размеров). Новое поколение умеет двигаться в трёх плоскостях, и достаточно быстро. Третья особенность роботов — сложность манипуляций: примитивные роботы могут выполнять движения грузчика — в одном месте взял — в другое положил. Роботы из Массачусетса умеют выполнять сложные задачи, требующие не только механических усилий.

В заключение еще раз можно отметить, что микроэлектромеханические системы обеспечат выход технологии на новый уровень, и, по-видимому, уже в ближайшее время прочно займут свое место в нашей жизни.

Список Литературы:

1. Microsystem Engineering (Prof. Dr.-Ing. Kasper), http://www.tu-harburg.de/mst/deutsch/lehre/mikrosystemtechnik/mst_eng.shtml
2. Introduction to microelectromechanical systems, <http://www-ee.uta.edu/Online/cbutler/MEMSWebpage/>

3. perst.isssph.kiae.ru
4. Лацапнёв Е., Яшин К.Д., www.micromachine.narod.ru
5. Журнал "Микросистемная техника", www.microsystems.ru
6. Научно-исследовательская лаборатория микротехнологий и МЭМС СПбГУ, www.mems.ru
7. www.memsnet.org
8. www.trimmer.net
9. www.microbot.ru
10. www.nanonewsnet.com
11. www.nanobot.ru
12. Lyshevski S.E., "NANO- AND MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS - Fundamentals of Nano- and Microengineering", CRC Press



Рис. 1

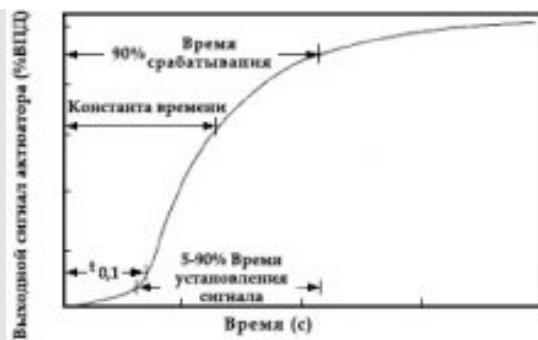


Рис. 2

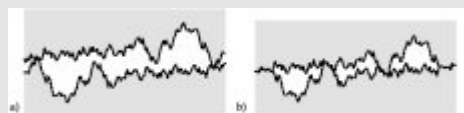


Рис. 3. Модель, представляющая увеличение фактической контактной поверхности: а) контактная область с малой нагрузкой и б) контактная область с большой нагрузкой.

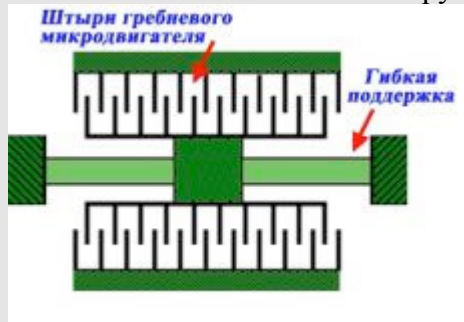


Рис. 5

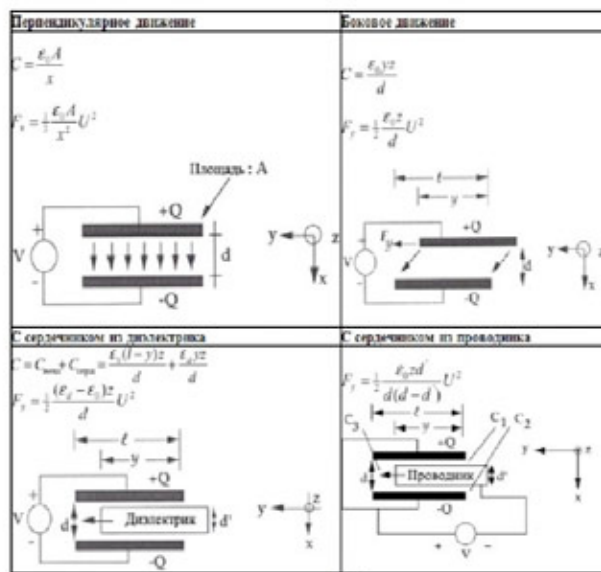


Рис. 4

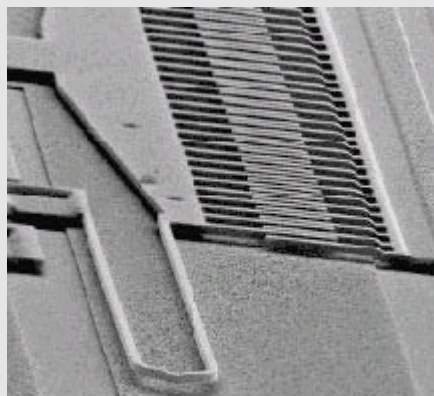


Рис.5(1)

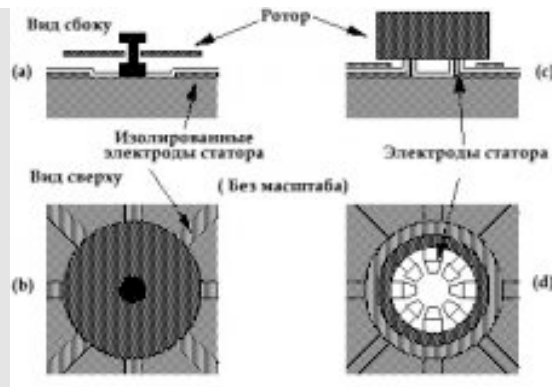


Рис. 6

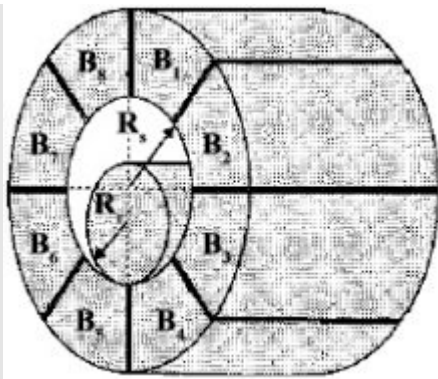


Рис 7.

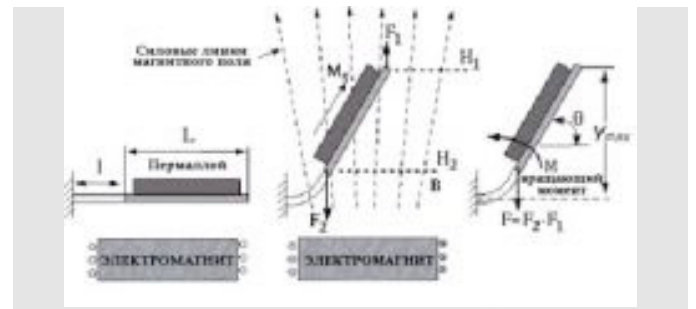


Рис. 8.

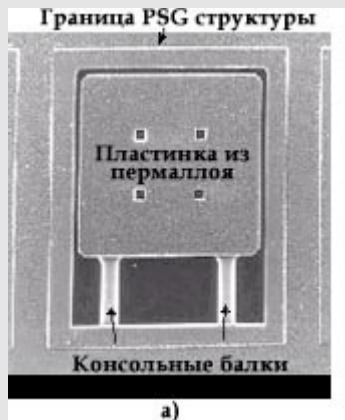


Рис. 9(а)

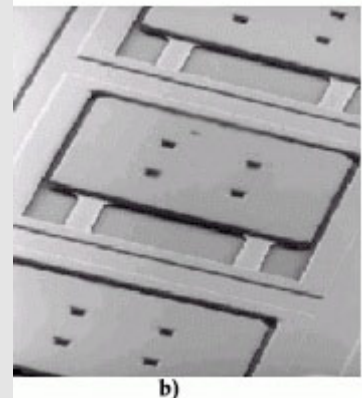


Рис. 9(б)

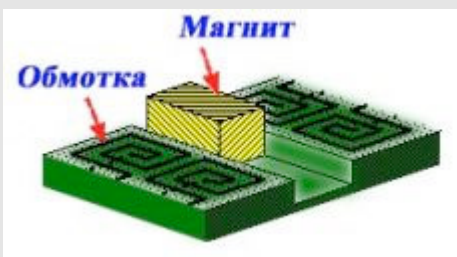


Рис. 10

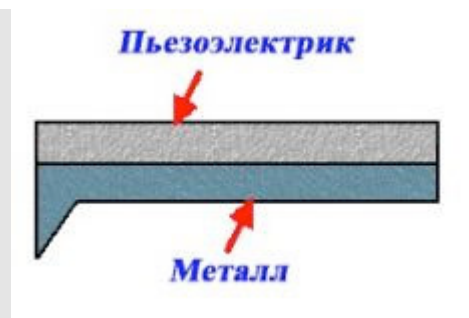


Рис. 11(а)

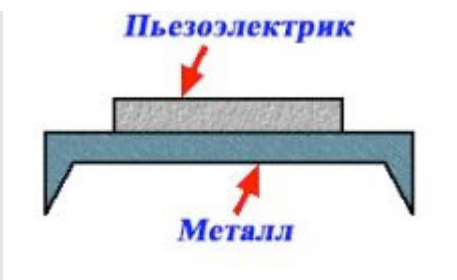


Рис. 11(б)

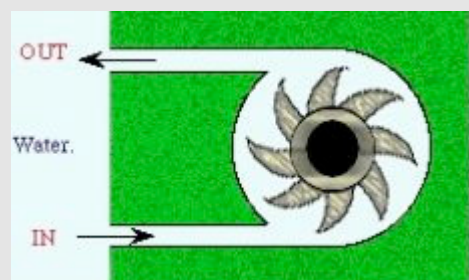


Рис. 12

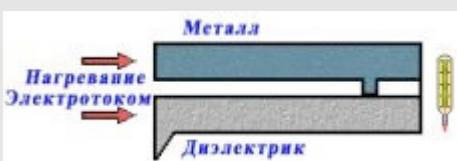


Рис. 13



Рис. 14



Рис. 15. Связь между проектированием и задачами моделирования и имитации в среде проектирования

Параметры процесса	Преимущества	Недостатки
 Маска Фоторезист Обработка Микроструктура	1. Дает наилучшее отношение ширины канала к длине при минимальных размерах	1. Ограничена возможность комбинирования с полупроводниковой технологией (СМОП).
 Структура из фоторезиста Обработка Микроструктура	2. Структуры с высокой разрешимостью топографического изображения	2. Есть ограничения на форму рельефа и на получение свободно перемычных структур
 Микроструктура Обработка Микроструктура	3. Жесткий допуск.	3. Ограничена точность по высоте.
 Тонкая пленка Обработка Микроструктура	4. Возможно получение свободно перемычных структур	4. Высокая сложность изготовления
 Обработка Микроструктура	5. Разнообразие материалов.	5. Чрезвычайно дорогие маски и экспонирование

Рис. 18

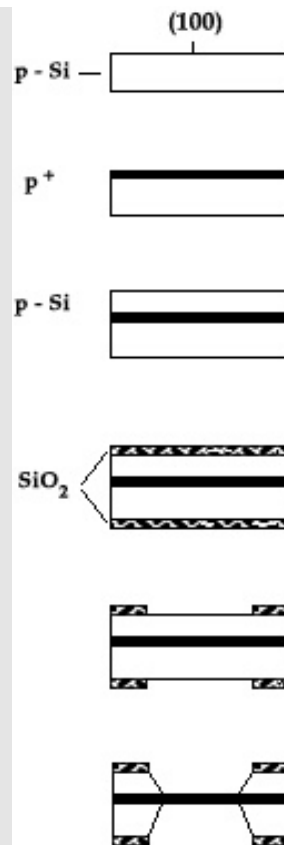


Рис. 16

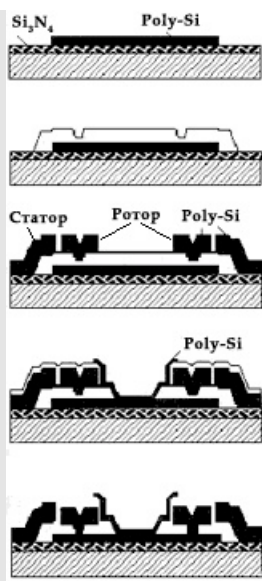


Рис. 17

Параметры процесса	Преимущества	Недостатки
 Кремниевая подложка	1. Хорошее разрешение топографического изображения	1. Ограничена точность по высоте (СМОП).
 Кремниевая подложка	2. Низкий допуск	2. Есть ограничение для высоких структур
 Кремниевая подложка	3. Высокое отношение ширины канала к длине.	3. Ограничена скорость травления
 Кремниевая подложка	4. Возможно получение свободно перемычных структур	4. Обработка подложек только по отдельности
 Кремниевая подложка	5. Разнообразие материалов.	
 Кремниевая подложка	6. Уменьшены работы по производству	
 Кремниевая подложка	7. Возможно получение рельефных изображений	
 Кремниевая подложка	8. Совместима с криковой технологией.	

Рис. 19



Рис 20. Магнитный микроактюатор, управляющий простейшим одноклеточным



Рис 21. Микрозажим, приводящийся в действие силами сплава памяти формы

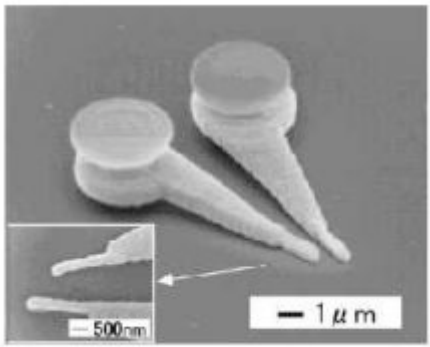


Рис. 22

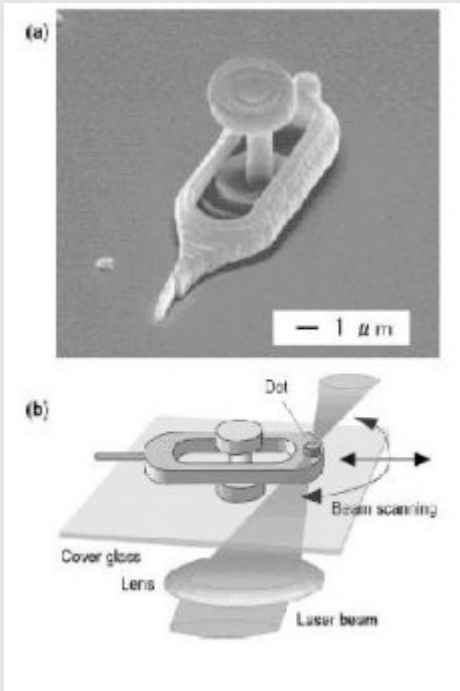


Рис. 24

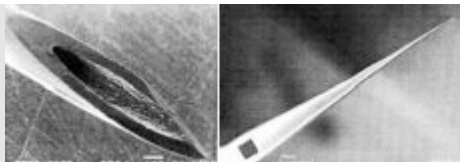


Рис. 27. Слева: самая маленькая обычная игла. Справа: микроизготовленная кремниевая игла. Масштаб обоих изображений одинаков

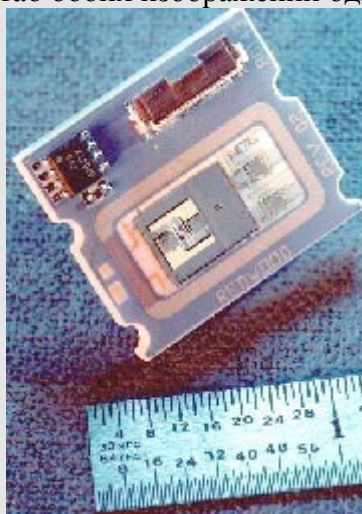


Рис. 29. Микроклапан, разработанный Redwood Microsystems, Inc

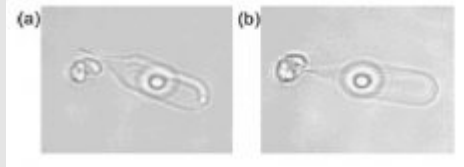


Рис. 23



Рис. 25. Чувствительный скальпель с пьезоэлектрическим управлением силой нажима



Рис. 26. Ультразвуковой режущий инструмент, изготовленный по технологии микрообработки

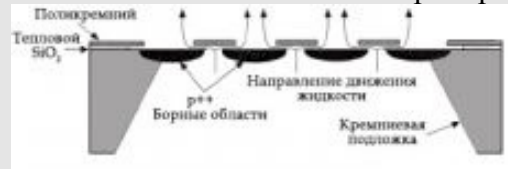


Рис. 28. Сверхточный фильтр, изготовленный по технологии кремниевой микрообработки.

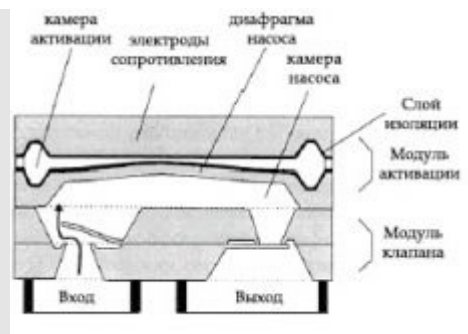


Рис. 30. Электростатический микронасос с двумя запорными клапанами.

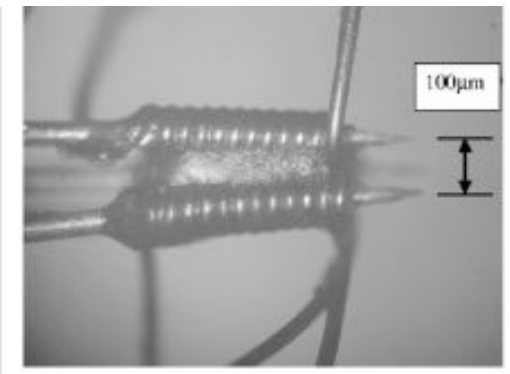


Рис. 31



Рис. 32

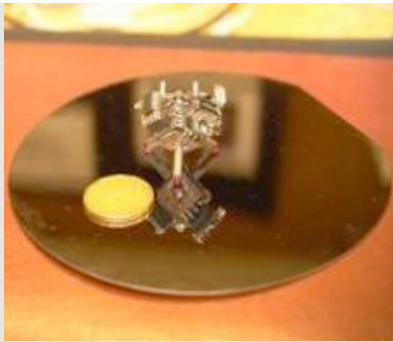


Рис. 33



Рис. 34



Рис. 35 Конструкции пьезоэлектрических микроактюаторов

$$C_a = \frac{P}{E} \omega^2 L^2 \quad (1)$$

$$W_e = \frac{\rho v^2 L}{\sigma_e} \quad (2)$$

$$F_0 = \frac{\lambda}{c_p \rho} \frac{t}{L^2} \quad (3)$$

$$F_r = \frac{v^2}{g L} \quad (4)$$

$$F = \frac{dW}{ds} \quad (5)$$

$$F = \frac{\Delta W}{\Delta s} = \frac{W_1 - W_2}{\Delta s} \quad (6)$$

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{ds} \frac{ds}{dt} = F \cdot v \cdot \tau \quad (7)$$

$$U = CV^2/2 \quad (8)$$

$$F_x = V^2 \partial C / \partial x / 2 \quad (9)$$

$$D_i = d_{ik} \sigma_k + \epsilon (d)_{ik} E_l \quad (10)$$

$$\epsilon_k = d_{ik} E_l + S_{ik}^E \sigma_k \quad (11)$$

Рис. 36

Молекулы с люминесценцией... белого цвета!

M. Ward, В.В.Уточникова

Статья основана на лекции, прочитанной проф. М. Уордом на Первой международной конференции по люминесценции лантанидов

Создание белых светодиодов было названо одним из основных достижений нанотехнологии. Но назвать – одно дело, а создать эффективный светодиод – совсем другое. Подобрать материалы с яркой люминесценцией таких цветов, чтобы в сумме получился белый, собрать их в нужной пропорции – ведь ошибка в яркости любого слоя приведет к синему, красному или зеленому цвету – все это задача непростая. Но пока каждая группа ученых бьется над частями этой проблемы по отдельности, Майкл Уорд решил объединить задачу поиска люминесцирующих материалов и их комбинирования для получения белого света в одну. И помогла ему в этом идея ап-конверсии, о которой Нанометр уже писал раньше довольно подробно. Напомним вкратце. Вместо того, чтобы возбуждать люминесценцию координационных соединений лантанидов при поглощении ультрафиолета органической частью, можно заменить органические лиганды на соединения d-элементов. Они поглощают свет с большей длиной волны, но могут не только сами переизлучать его, давая свечение во всем видимом диапазоне, что также исследуется во всем мире, а передавать возбуждение на связанный с ними ион лантанида – европия, неодима, эрбия... В результате этого люминесцировать будет именно он, а энергия возбуждения заметно снизится. Эффективность такой передачи энергии обычно становится основным критерием выбора комплекса d-металла, но вот что будет, если передача энергии с такого соединения на ион, например, европия будет не полной? Остаточная энергия будет высвечиваться самим комплексом d-металла, и в результате мы получим наложение цветов, например, красного от европия и синего от комплекса платины.

Таким образом, если подобрать люминофор так, чтобы он частично возбуждал центральный ион европия, а частично сам излучал свет с такой длиной волны, чтобы в итоге получилось белое излучение, можно создать биядерный комплекс, обладающий сбалансированной белой люминесценцией!

Дополнительным преимуществом является то, что подобные биядерные комплексы зачастую легко синтезировать: их синтез проводится подобно синтезу простых координационных соединений с той лишь разницей, что лиганд уже предварительно связан с атомом d-металла. Первый же эксперимент по созданию комплекса гексафторацетилацетоната европия с иридий-бипиридином приводит к частичному успеху: при титровании комплекса иридия комплексом европия люминесценция первого постепенно исчезает, привнося взамен красную компоненту. Частичное гашение люминесценции иридиевого комплекса с остаточным временем жизни возбужденного состояния приводит к возникновению желтого излучения: сумма красного излучения европия и зеленого излучения комплекса иридия. Для получения белого света нам нужен иридиевый комплекс с синей люминесценцией, например, тот, что показан на Рис.4. Химикам снова везет: координация со вторичным дииминном приводит к сенсбилизации люминесценции европия, и на некотором этапе удастся наблюдать белую люминесценцию! Но вот беда: этот лиганд уж слишком хорош, и в результате его люминесценция полностью гасится, уступая место красному свечению иона европия. Можно оставить дело и так, используя в качестве люминофора смесь продуктов, но это не решение, и ученые движутся дальше, стараясь теперь уже найти соединение, люминесценция которого будет гаситься с сенсбилизацией излучения европия, но не полностью. Выбор падает на лиганды с длинными насыщенными мостиками: возможно, они будут предотвращать эффективный энергетический транспорт. Однако первый эксперимент не обречен на успех: гашение люминесценции все еще полное. Связано это оказалось с тем, что ароматический электрон-обогащенный нафтильный фрагмент вступает в эффективный п-стекинг с электрон-обедненным F₂PhRu фрагментом, а подвижность метиленовой группы только способствует тому, что такой стекинг сохраняется и в итоговом биядерном комплексе. Что в итоге? Малое расстояние Eu-Ir, избежать которого должен был позволить длинный хвост, и - эффективный транспорт энергии. Ответ прост: п-стекинга надо избежать! Объемные CF₃-группы должны создать стерические затруднения для эффективного п-стекинга, и это происходит.

Гашение люминесценции происходит только на 50%, и в итоговом комплексе с константой скорости передачи энергии $7 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ баланс между красной и сине-зеленой компонентой приводит к возникновению белого излучения.

Итак, белый люминофор - биядерный комплекс иридия-европия - был получен!

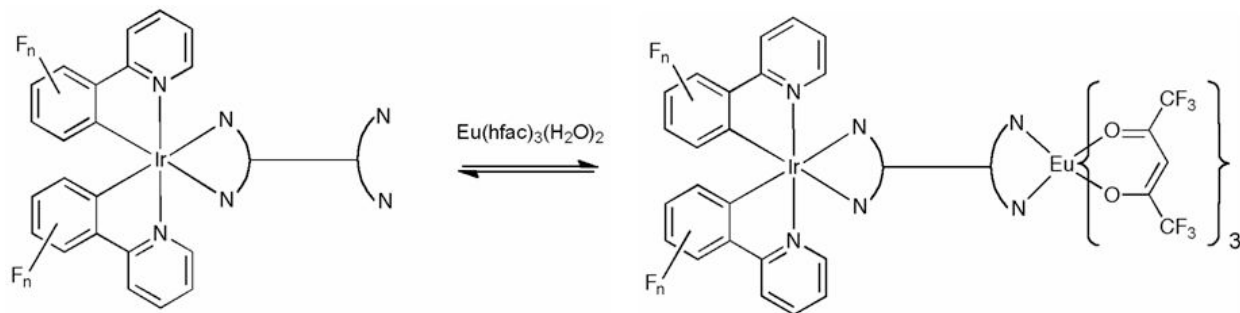


Рис. 2. Синтез биядерного комплекса



Рис. 1. Принцип работы

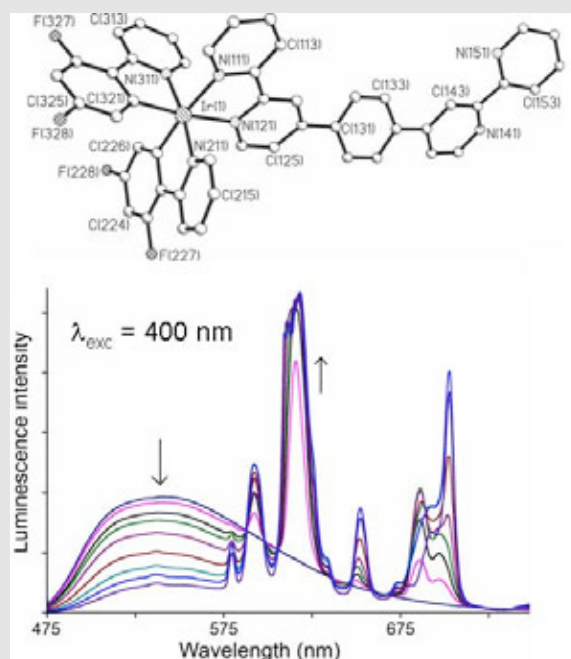


Рис.3 Желтая люминесценция

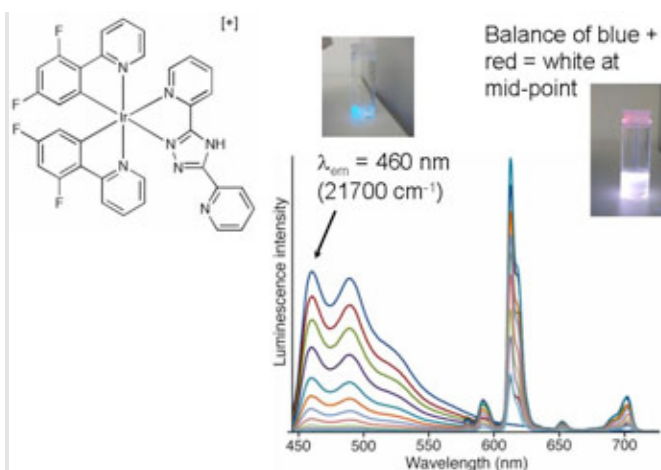


Рис. 4. Полное гашение люминесценции

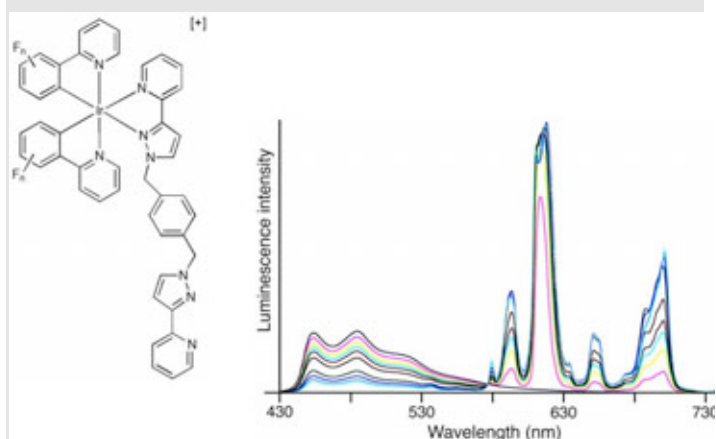
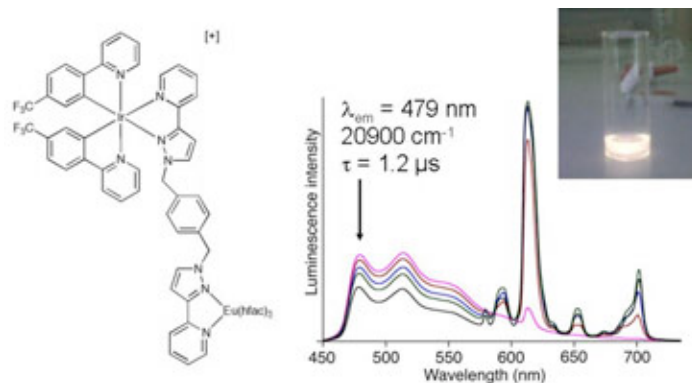
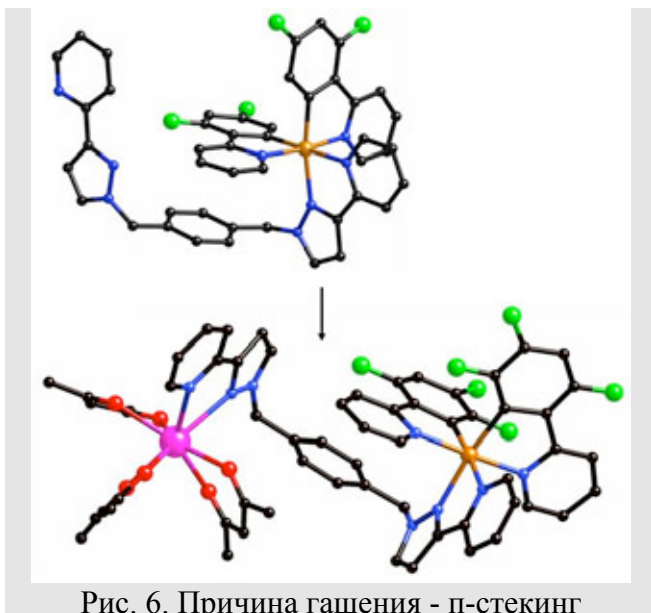


Рис. 5. Длинный хвост: все равно полное гашение



С днем рождения, Бакиболл!

В. В. Уточникова

В.В.Уточникова – аспирант ФНМ МГУ

В статье использованы материалы: Дуализм на примере молекул C₆₀, Оригинальная статья про фуллерен, Транзистор на C₆₀, Фуллерид цезия

Двадцать пять лет – срок для нанотехнологии немалый. Оглядываясь назад в 1985 год, мы видим, что сканрующий туннельный микроскоп уже изобретен, а атомно-силового микроскопа еще нет. Уже прошло 25 лет с момента знаменитой лекции Ричарда Фейнмана «Там, внизу, еще полно места», но остается еще 15 лет до запуска Национальной инициативы по Нанотехнологиям в США. Независимый самоуправляемый профсоюз «Солидарность» был создан в Польше за 5 лет до этого, а Советский союз перестанет существовать только через шесть лет. Я появилась на свет только через год, а фуллерен C₆₀ – как раз тогда. И через 11 лет, в 1996 году, его создатели, Курл, Крото и Смолли, разделили Нобелевскую премию по химии.

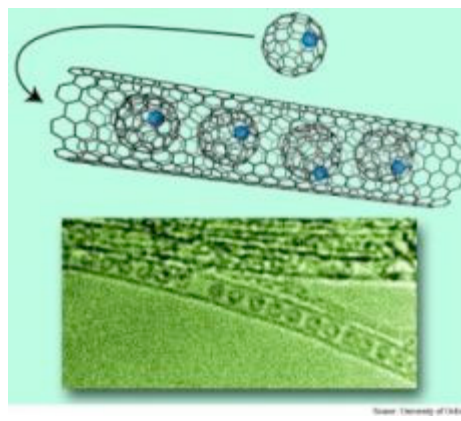
Статья в Nature была озаглавлена кратко и емко: «C₆₀: Бакминстерфуллерен». Статья по размеру не превосходит двух страниц, в качестве иллюстрации приводится фотография футбольного мяча, а дополнительная информация отсутствует. «Мы просим прощения за большое количество символов в таком забавном, но очень подходящем названии, выбранном нами для частиц C₆₀, - извиняются авторы в конце статьи. – Для такой уникальной и химически важной структуры должно быть выбрано более подходящее название. В голову приходит несколько вариантов (например, боллен (bollene), сферен, соккерен, карбосоккер), но мы хотели бы оставить вопрос номенклатуры для подходящего консенсуса.» Но название бакминстерфуллерен закрепилось, точно также, как и другое, более ласковое, хоть и менее поэтичное – бакиболл.

Крото с коллегами предположил, что молекула C₆₀ имеет усеченную икосаэдрическую структуру (то есть состоит из 20 шестиугольников и 12 пятиугольников), но подтвердить этого для своей статьи 1985 года они не могли. Группа ученых в Экстоне пыталась оспорить это утверждение, говоря, что молекулы на самом деле плоские, и обоснованному свидетельству структуры усеченного икосаэдра пришлось ждать появления нового метода создания большого числа молекул C₆₀ и СТМ-изображений этих образцов. (На самом деле, группа в Экстоне наблюдала свидетельства образования кластеров из 60 атомов углерода в масс-спектрах, но не придавала этому значения.)

Сегодня для читателя может быть удивительно, что статья не начинается со слов о потенциальном применении нового открытия. Ни слова о биосенсорах, доставке лекарств, наноэлектронике, квантовых компьютерах или другой передовой области нанотехнологии. Ученые написали, что их детище можно использовать как суперсмазку, но и то только мельком в самом конце статьи. Они начинают статью словами о том, что толчком для проведения их работы было желание лучше разобраться в механизмах образования в космосе длинных углеродных цепей. Может быть, это не так плохо: хотя за последние десятилетия наука ушла в сторону от теорий и характеристик материалов к созданию устройств с функциональными свойствами, эти свойства могут быть слишком далеки от реалий мира.

Хотя стоит признать, что молекула C_{60} не очень преуспела во всякого рода практических применениях, это никак не умаляет ее значения во многих областях фундаментальной науки. Демонстрация корпускулярно-волнового дуализма на примере молекулы C_{60} в 1999 году стало поворотным пунктом в развитии квантовой механики, и позже та же группа ученых продемонстрировала и волновое поведение более крупных молекул фторированного фуллерена ($C_{60}F_{48}$). Длинный список других примеров включает изготовление транзистора на основе одной молекулы C_{60} , демонстрация сверхпроводимости в этом транзисторе, необычная сверхпроводимость фуллерида цезия, упорядочение молекул C_{60} на поверхности...

Не надо забывать и о том, что фуллерен стал первым в серии углеродных материалов, заставляющих замирать сердца ученых в течение последних двух десятилетий. Углеродные нанотрубки сконцентрировали на себе внимание в 1990-х годах и до сих пор являются объектом бесчисленного числа публикаций, а интерес к графену не только не собирается спадать, но открывает себе все новые пути, включая Нобелевскую премию этого года. Огромная часть внимания к графену и нанотрубкам вызвана потенциальной возможностью их применения в электронике. Бакминстерфуллерен может уступать свои позиции конкурирующим аллотропам в этой – и в других – областях, но он все еще не теряет способности удивлять, например, открытием молекул C_{60} и C_{70} в космосе. И поскольку работа по открытию бакиболла была вызвана проблемами астрофизической химии, можно сказать, что история этой замечательной молекулы сделала первый круг своего развития.



Выделяем, разделяем и сепарируем углеродные нанотрубки

А.Овчинников

На основе оригинальной статьи Cai-Hong Liu, Hao-Li Zhang. *Chemical approaches towards single-species single-walled carbon nanotubes*. RSC, 2010

Одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ) представляют сейчас огромный интерес для разных областей науки и промышленности. Основными параметрами ОУНТ являются их диаметр и хиральность. Последнее определяет электронные свойства материала. Хиральность углеродных нанотрубок задается вектором хиральности:

$$C_h = na_1 + ma_2,$$

где a_1 и a_2 – параметры решетки графена. Металлическими ОУНТ являются нанотрубки, для которых выполняется условие $(n-m)/3=s$, где s – целое число (рис. 1). Такая особенность связана со строением зоны Бриллюэна. Нанотрубки, для которых это условие не выполняется, являются полупроводниками. Получение ОУНТ с заданными параметрами до сих пор представляет нерешенную задачу.

В статье китайских ученых Liu и Zhang дается краткий обзор основных методов выделения ОУНТ с определенными свойствами.

Функционализация стенок ОУНТ

Ввиду того, что высшая занятая молекулярная орбиталь металлических ОУНТ лежит выше, чем в случае полупроводниковых ОУНТ, первые легче вступают в реакции электрофильного присоединения. При этом электрофилами могут быть соли диазония, оксид осмия, фторированные алкены, кремнийорганические соединения и др (рис. 2). Во всех этих реакциях необходим строгий контроль за концентрацией реагентов, чтобы избежать побочных взаимодействий с полупроводниковыми ОУНТ.

Селективное разрушение

Пероксид водорода селективно окисляет полупроводниковые ОУНТ при УФ облучении в растворе при 90°C. Кроме того, эта реакция селективна по отношению к диаметру нанотрубок, т. к. изменение длины волны приводит к возбуждению зависящих от диаметра электронных переходов в углеродной нанотрубке. Авторы обзора ссылаются также на работу Miyata, который установил, что окислению на воздухе более подвержены ОУНТ с меньшим углом хиральности и меньшим диаметром. Обработка углеродных нанотрубок другими газами при высокой температуре также рассматривается как метод селективного разрушения нанотрубок одного типа. Так, водородная плазма вызывает гидрирование металлических ОУНТ и ОУНТ с малым диаметром, в то время как нагревание ОУНТ с SO_3 приводит к селективному разрушению полупроводниковых нанотрубок.

Диспергирование с биомолекулами

Использование биологических молекул позволяет проводить диспергирование, селективное как по отношению к диаметру, так и по отношению к электронным свойствам ОУНТ. Особый интерес представляет использование ДНК в качестве диспергента. Взаимодействие ДНК с углеродными нанотрубками ведет к специфическому сворачиванию молекулы ДНК вокруг ОУНТ (рис. 3), что позволяет проводить разделение нанотрубок методом ионообменной хроматографии, при чем раньше выходят фракции, обогащенные металлическими ОУНТ и ОУНТ с меньшим диаметром. Однако использовать этот метод для крупномасштабного производства пока невозможно.

Амины и поверхностно-активные вещества

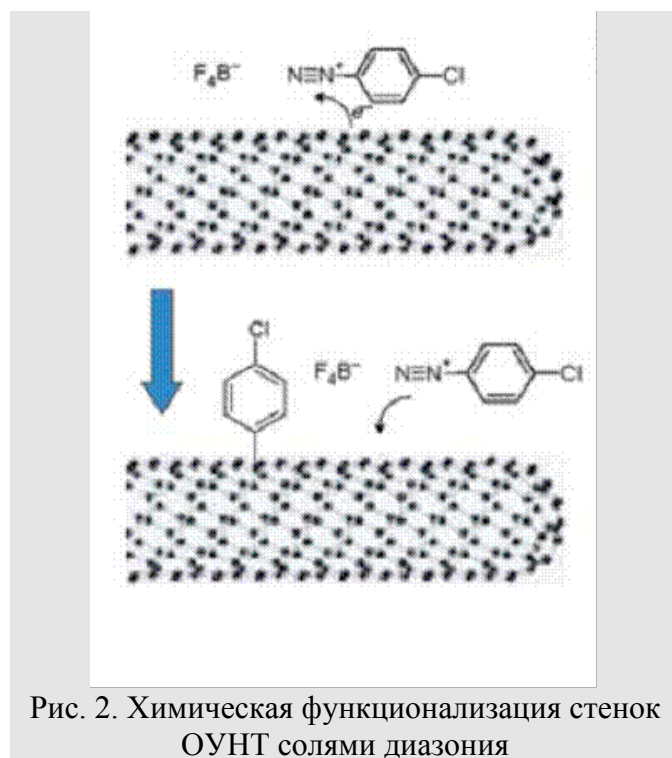
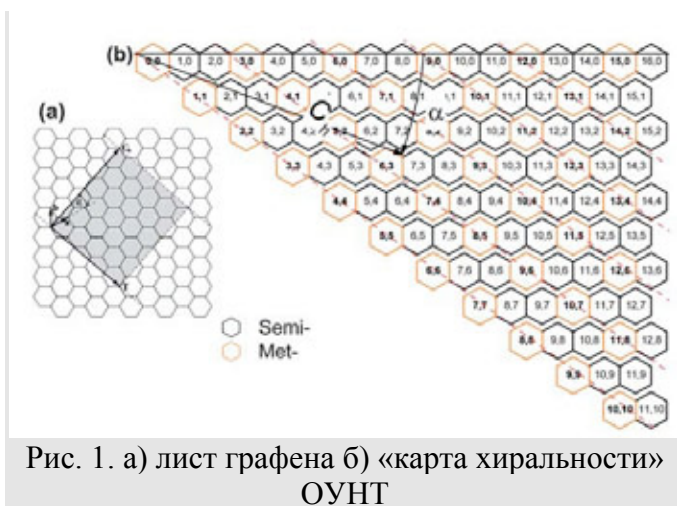
Октадециламин селективно взаимодействует с полупроводниковыми нанотрубками, если ОУНТ были предварительно окислены. Пропиламин и изопропиламин селективно адсорбируются на металлических нанотрубках. Эффективным диспергентом может быть также лаурилсульфат натрия, при использовании которого возможно разделение нанотрубок как по диаметру, так и по электронным свойствам. Наибольшая эффективность достигается при одновременном применении селективного диспергирования и гель-электрофореза.

Ароматические соединения

Из-за сильных π - π взаимодействий возможна адсорбция ароматических молекул на стенках углеродных нанотрубок. Селективная адсорбция порфирина наблюдалась на стенках полупроводниковых ОУНТ. Значительным достижением в этой области является возможность разделения левых и правых хиральных нанотрубок с использованием хиральных ароматических молекул, состоящих из двух порфириновых фрагментов (рис. 4). Варьируя двугранный угол между порфириновыми остатками в молекуле диспергента, можно изменять селективность выделения хиральных ОУНТ.

Модифицированные химически или диспергированные углеродные нанотрубки можно разделять, используя стандартные методы: жидкостную хроматографию, центрифугирование и гель-электрофорез.

Приведенный в обзоре список методов разделения ОУНТ не исчерпывает всех возможных подходов к этой проблеме. Авторы обзора выражают надежду, что в будущем будут разработаны химические методы направленного синтеза ОУНТ с заданными характеристиками. При этом они считают, что возможен как стандартный каталитический подход с ростом ОУНТ из газовой фазы, так и синтез отдельных фрагментов нанотрубок методами органической химии или использование ОУНТ с заданным диаметром и хиральностью в качестве темплатов для получения одинаковых углеродных нанотрубок. По мнению авторов такой принцип «клонирования» может быть реализован в будущем.



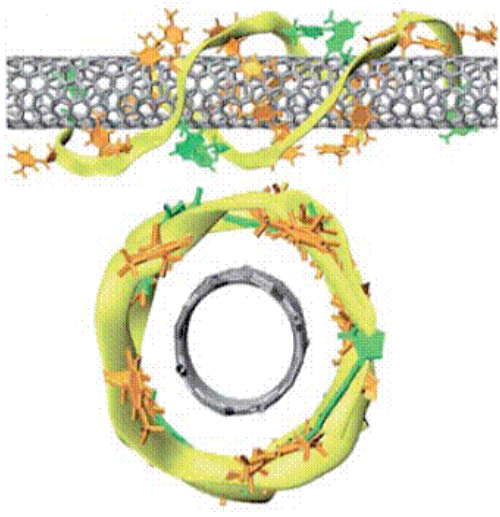


Рис. 3. Молекула ДНК вокруг ОУНТ

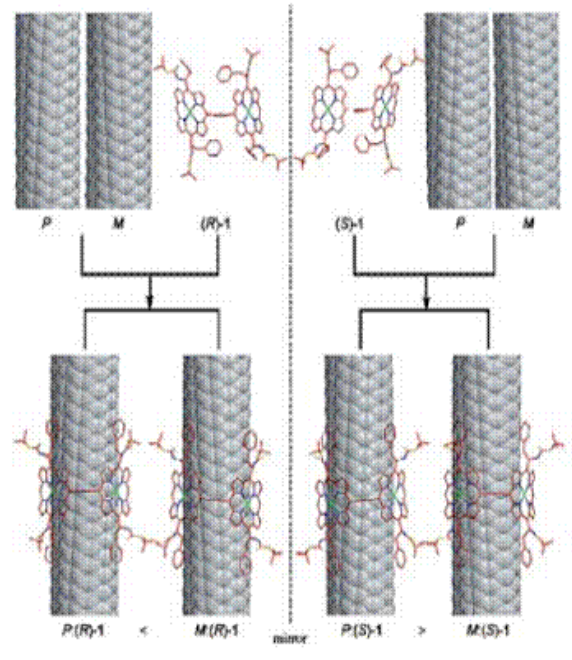


Рис. 4. Адсорбция хиральной дипорфириновой молекулы на стенке ОУНТ. Р-правая ОУНТ, М – левая ОУНТ

Принц-технология

А.С.Пузанов

Термин: Принц-технология, **термин на английском:** Prince-technology, **связанные термины:** полупроводники, молекулярно-пучковая эпитаксия, нанотрубки, литография

Определение: Метод формирования трёхмерных микро- и наноструктур, основанный на отделении напряжённых полупроводниковых плёнок от подложки и последующего сворачивания их в пространственный объект.

Описание

Для демонстрации возможности формирования трёхмерных структур использовались выращенные на подложке арсенида галлия (GaAs) (с жертвенным слоем AlAs) напряжённые двухслойные плёнки (GaAs/InGaAs, где GaAs внешний слой), выращенные при помощи метода молекулярно — пучковой эпитаксии. Тонкая плёнка (несколько монослоёв) напряжена поскольку постоянная решётки ненапряжённого слоя тройного соединения InGaAs больше, чем у GaAs (поэтому при росте получается сжатый слой InGaAs) и при отделении от подложки она стремится распрямиться, что создаёт закручивающий момент и приводит в итоге к сворачиванию плёнки. Для отделения биплёнки, используется селективный (то есть для которого скорости травления различных веществ сильно различаются) жидкостный травитель (водный раствор HF), который удаляет жертвенный слой AlAs, не затрагивая другие соединения. При сворачивании получается рулон (или трубка), который может состоять из многих десятков витков. При использовании монослоёв веществ типа GaAs/InAs (рассогласование постоянных решёток достигает 7 %) можно получить полупроводниковые нанотрубки диаметром до 2 нм, которые, в отличие от углеродных нанотрубок, могут быть сформированы в определённых местах на подложке и с заданными

диаметрами с помощью литографии. Эти свободные двухслойные плёнки состоящие из двух атомных слоёв различных материалов обладают совершенной атомарной структурой, изначально присущей плоской плёнке на поверхности подложки.

Этот метод довольно гибкий и может применяться ко многим системам. Например, Si/SiGe плёнки на подложке Si тоже могут выступать в качестве напряжённой системы. Здесь используется другой травитель: водный раствор NH_4OH , который травит кремний (также используется стоп-слой между жертвенным слоем кремния и подложкой, который плохо травит кремний сильнолегированный бором) Si/SiGe плёнки оказались удобными для изготовления массивов трубок (игл) с выступающими за край подложки краями. Используя плёнки на основе AlGaAs/GaAs/AlGaAs/InGaAs можно сформировать квантовую яму для электронов и получить двумерный электронный газ (ДЭГ) в слое GaAs, при сворачивании гетероструктуры в трубку. Здесь нужно модифицировать технологию и использовать направленное сворачивание напряжённых гетероструктур.

Если поместить ДЭГ во внешнее однородное магнитное поле, то так как движение электронов поперёк плёнки ограничены соседними слоями (AlGaAs) с большей чем у GaAs шириной запрещённой зоны, то электроны движутся только под действием нормальной составляющей магнитного поля к поверхности плёнки. Таким образом возникает эффективное неоднородное магнитное поле, которое может привести к анизотропии магнетосопротивления (сопротивление зависит от направления магнитного поля), связанной с так называемым статическим скин-эффектом, возникающим благодаря неоднородности магнитного поля.

Ссылки

1. Драгунов В.П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. Основы наноэлектроники.. — 2-е изд. — Логос, 2006. — С. 494. — ISBN 5-09-5-98704-054-X
2. Галина Казарина, Атом насущный «Эксперт Сибирь» №22 (164).
3. Ю. Александрова Мы живём в такое время, когда научные фантазии превращаются в реальность... «Наука в Сибири» №47 (2582).

Фенольный компьютер

Н.С.Фалалеев

В ближайшее время компьютерная техника может зайти в тупик. Рост производительности микросхем достигается за счет увеличения количества транзисторов. Уже сейчас литография стремится к 13 и 9 нанометрам. При таком экстенсивном подходе к развитию физический предел очевиден.

Одна из альтернативных концепций, которую сейчас могут предложить ученые, заключается в использовании так называемых Кубитов (q-битов) для построения квантовых компьютеров. Однако эта идея является на данный момент не более чем гипотезой, так как компьютер на подобных принципах при сегодняшнем уровне развития науки построить невозможно.

В настоящей же работе предложено пойти по пути интенсивного развития вычислительной техники, не забывая при этом о возможности реализации данной идеи. Предлагаемый проект основан на давно изученных фактах и может быть осуществлен на уровне развития науки, близком к современному.

Описываемая концепция компьютера является универсальной и может быть использована при построении вычислительных машин любого назначения.

Ниже предлагается решение актуальной задачи: значительного увеличения вычислительной мощности процессора при сохранении его физических размеров (прогрессивное развитие, в отличие от экстенсивного) за счет альтернативного подхода к созданию вычислительной техники с использованием потенциальных возможностей нанотехнологий.

Описание принципа работы и техническое обоснование.

Принцип работы.

В современных компьютерах для обработки информации используется двоичный код. Однако при таком подходе плотность самой информации очень низкая. То есть каждый значащий символ передает лишь один бит информации. С точки зрения компьютерной логики это вполне приемлемо. Но, как было сказано выше, практическая реализация такого подхода имеет очень серьезные физические ограничения, которые уже почти достигнуты.

Потому предлагаю использовать «гекст» (гекс - приставка, обозначающая шесть) вместо бита. То есть каждая элементарная единица информации должна быть описана не одним из двух возможных вариантов состояния системы, а одним из шести. Это значительно повысит плотность информации на единицу площади.

Есть причины перехода с двоичной системы на шестеричную, которые объясняются физическим аспектом данной идеи. Как легко догадаться из названия проекта – «Фенольный компьютер», суть данной идеи заключается в том, что вместо положительного или отрицательного заряда предлагается использовать положение молекулы фенола. А точнее расположение ОН-группы относительно фенильной группы.

Как известно, фенол представляет собой фенильную группу с присоединенной ОН-группой. Каждая молекула фенола может быть поставлена в одно из шести положений (по числу «углов» бензольного кольца), которые очень четко можно различить по ориентации ОН-группы в плоскости кольца. Проще говоря, каждая молекула фенола несет в себе информацию, представляющую собой один из шести возможных вариантов.

Интеграция с существующим оборудованием.

Молекулы фенола для более легкой оценки объема информации и использования со стандартными современными компьютерными системами целесообразно группировать попарно. Легко видеть, что пара молекул фенола несет в себе информацию в размере чуть более 5 бит, а точнее 36 вариантов взаимного расположения двух ОН-групп. Конечно, сохраняя привычное двоичное представление информации, можно использовать в каждой паре только 32 из 36 положений, а 4 оставить для перспективного развития данной системы.

Однако очевиден тот факт, что гораздо выгоднее с точки зрения объемов вычисления за единицу времени и как следствие его времени использовать не двоичную, а шестеричную систему исчисления. За единицу времени вычисление происходит в значительно большем объеме, чем в двоичной системе исчисления. То есть, на перевод из десятичной (так как прикладные задачи обычно используют именно такую систему) в шестеричную затрачивается время, сопоставимое с переводом из десятичной в двоичную. Но время самого вычисления резко уменьшается, так как каждая элементарный носитель (гекст) содержит в себе значительно большее количество информации и элементарные операции становятся, если так можно сказать эффективнее – за каждый элементарный шаг обрабатывается больший объем информации.

Пример.

При выполнении сложения $5+5$ в двоичных кодах каждое слагаемое представляется кодом 101, то есть их запись займет 6 бит, которые и придется обработать в соответствии с заданным

арифметическим действием. А в шестеричной системе счисления для этого надо обработать всего два «гекста». Выгода очевидна.

При необходимости прямого обмена информацией данной системы с компьютерами и устройствами традиционного образца (на основе двоичных кодов), возможно использовать четверичную систему счисления. При использовании четверичной системы счисления неизбежно получим некоторое понижение максимальной производительности, однако преимущества фенольного компьютера сохраняются. Четверичная система легко и быстро переводится в двоичную, что позволяет использовать традиционные устройства передачи информации. Стоит отметить тот факт, что переход с шестеричной на четверичную систему счисления легко осуществляется на уровне микрокода и не требует вносить какие-либо изменения в физическую конструкцию данного компьютера. Вышесказанное поясняет рис.1.

В любом случае, данный принцип требует разработки нового программного обеспечения и программного языка. Для более рационального использования возможностей компьютера требуется разработать и текстовые кодировки, учитывающие особенности употребления «гекста» вместо бита. Весь этот комплекс мер позволит оптимальным образом распорядиться преимуществами данной системы, которая значительно превосходит традиционные аналоги по всем основным показателям.

Возможности реализации. Физические принципы работы.

Данный проект имеет достаточно большую вероятность быть реализованным по сравнению со многими другими альтернативными компьютерами.

Работа компьютера, представленного в данном проекте, осуществляется за счет регистрации положения ОН-группы молекулы фенола, а также непосредственного поворота молекулы. Бесспорно, данный проект для реализации нуждается в применении нанотехнологий. Однако реализовать его вполне реально.

Бензольное кольцо и ОН-группа, составляющие молекулу фенола, значительно влияют друг на друга. Фенильная группа оттягивает на себя неподеленную электронную пару от атома кислорода в ОН-группе. В результате на атоме водорода в ОН-группе получает частичный положительный заряд, поэтому полярность связи О–Н увеличивается. (Рис.2.)

На основании вышесказанного, предлагается следующий принцип работы. Считывание информации о положении ОН-группы, а также ее поворот может осуществляться за счет взаимодействия с электрическим полем. Изменяя поле на подложке, содержащей нанoeлектронные компоненты, мы получаем возможность поворачивать молекулу. Положение ОН-группы может быть определено путем регистрации поля, создаваемого молекулой фенола.

Преимущества и недостатки по сравнению с традиционными подходами.

Преимущества:

- Возросшая производительность при том же размере.
- Высокое быстродействие.
- Компактность.
- Позволяет хранить значительно больше информации при тех же габаритах. (Для сравнения: только затвор современного полевого транзистора стремится к 20 нм, а размер молекулы фенола менее 1 нм. Таким образом, габариты будут различаться более чем 20 раз).
- Позволяет проводить больший объем вычислений в единицу времени при использовании одной вычислительной единицы.
- Не подвержен деградации проводников.
- Может работать в неблагоприятных условиях (в том числе в условиях радиации).
- Большой срок службы.

- Дешевизна самой вычислительной части (фенола), а при массовом производстве и всего фенольного компьютера.
- Универсальность: принцип может быть использован при производстве процессоров или памяти.

Недостатки:

- Ядовитый фенол требует относительно серьезной защиты.
- Требуется некоторых дополнительных устройств для полной совместимости с традиционным окружением.
- Требуется дополнительных разработок в области наноэлектроники.
- Требуется разработки нового программного обеспечения.
- Перспективы практического использования.

Данная концепция может быть использована во всех областях, где применяется вычислительная техника: от науки до индустрии развлечений. Особенности конструкции и ее свойства (высокая производительность) позволяют предположить, что в первую очередь данный компьютер может быть использован при научных расчетах и в областях, требующих хранения огромных объемов информации. Однако, в дальнейшем фенольный компьютер может быть у спехом использован и в повседневной практике: офисные работы, экономические расчеты, работа с мультимедиа и пр. Бесспорно, обработка изображений, видео требует большой вычислительной мощности, потому данный компьютер, наверняка, будет полезен в дизайн-студиях, в киноиндустрии (особенно для компьютерной анимации и мультипликации).

Стоит обратить внимание и еще на одно преимущество фенольного компьютера: возможно, построить сопоставимый традиционному по производительности фенольный компьютер, который будет во много раз компактнее и легче. Это свойство может найти применение во многих областях, среди которых не последнее место занимают и космические технологии. Как известно, цена отправки каждого лишнего килограмма в космос стоит больших денег, потому фенольный компьютер при установке на космический корабль позволит уменьшить стоимость запуска и освободить место для дополнительного научного оборудования. Конечно, фенольный компьютер понадобится и в батискафах, и в различных летательных аппаратах, так как все они нуждаются в компактном, легком и производительном бортовом компьютере.

Таким образом, за счет высокой производительности, компактности и других преимуществ по сравнению с традиционной схемой, фенольный компьютер может быть использован как полная альтернатива существующим. Что, к тому же, позволит значительно расширить сферу применения вычислительной техники, а это, в свою очередь, будет способствовать развитию науки и даст в руки человеку новые возможности.

Список использованной литературы:

1. Е. Д. Пожидаев, Химия. Издательство: Группа ИДТ, 2008 г.
2. Н.Л.Глинка Общая химия Издательство: Интеграл-Пресс, 2008 г.
3. С. Пахомов Эра трехмерных транзисторов, журнал КомпьютерПресс №1'2003
4. Ергожин Е.Е., Акимбаева А.М Анионообменные материалы на основе модифицированных шунгитов. Институт химических наук им. А.Б. Бектурова, г. Алматы, Казахстан.
5. Y.-M. Lin, C. Dimitrakopoulos, K. A. Jenkins, D. B. Farmer, H.-Y. Chiu, A. Grill, Ph. Avouris 100-GHz Transistors from Wafer-Scale Epitaxial Graphene Science 5 February 2010: Vol. 327. no. 5966, p. 662
6. Online энциклопедия «Кругосвет».
7. Wikipedia.

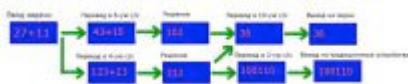
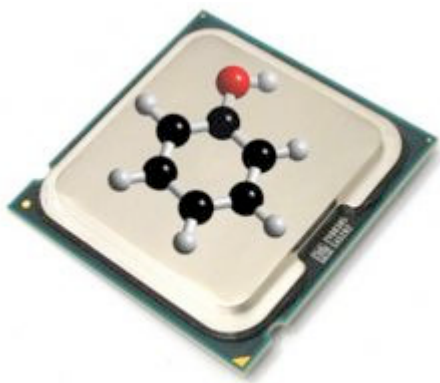


Рис.1. Принцип обработки информации фенольным компьютером на примере вычисления $27+11$ с выводом результата на собственный экран (верхняя ветвь) или с передачей традиционному двоичному устройству.

Примечание: при больших объемах вычислений более выгодно производить их в 6-ричной систем, а результат переводить непосредственно из 6-ричной системы в 2-ную. Это даст возможность максимально использовать быстродействие фенольного компьютера

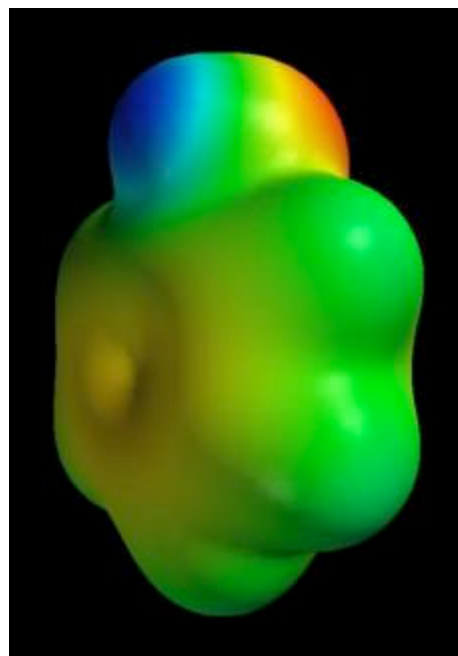


Рис. 2. Приблизительная модель молекулы фенола. Цветом отмечен частичный положительный и отрицательный заряды

Светодиодное освещение: LED в конце туннеля?

И.А.Биленко

По материалам научно - популярных изданий и собственного опыта к.ф.-м.н., доц. И.А.Биленко, серия статей при поддержке "Нано - это просто".

Сказать, что полупроводниковые источники света встречаются сейчас на каждом шагу, было бы не совсем верно: даже не сходя с места современный человек может увидеть вокруг себя десятки устройств, использующих светодиоды. Они применяются в индикаторах, системах записи-считывания и передачи информации, светофорах и карманных фонариках. Между тем данная технология до сих пор не преодолела очень важный рубеж: рынок осветительных приборов прочно удерживают люминесцентные лампы и старые добрые «лампочки Ильича».

Впрочем, есть веские основания предполагать, что ситуация может измениться в самом ближайшем будущем. Рассмотрим особенности традиционных и перспективных технологий производства светодиодов для систем освещения, их преимущества и недостатки в сравнении с традиционными световыми приборами, специфику продвижения таких систем на рынке.

Светодиод (распространенная аббревиатура: LED– light emitting diode) - это электролюминесцентный прибор, в котором испускание квантов света происходит при межзонных переходах электронов в активном слое полупроводника. Впервые явление электролюминесценции наблюдалось в 1907 году британским экспериментатором Генри Раундом из Маркони Лабс. В

1927 году советский физик Олег Владимирович Лосев независимо разработал и продемонстрировал излучатель света на основе р-п перехода. В 1962 году первый в мире практически применимый светодиод, работающий в видимом диапазоне, предложил Ник Холоньяк из компании General Electric.

Выбор полупроводников, используемых при производстве светодиодов для систем освещения, весьма ограничен, поскольку ширина запрещенной зоны, определяющая длину волны излучения, должна соответствовать видимому диапазону света. Наиболее распространенными являются арсенид галлия, нитрид галлия и нитрид индия. Низкая эффективность первых светодиодов была обусловлена высокими потерями света, проникавшего за пределы активного слоя, и высокой плотностью тока.

В 1968 году под руководством Жореса Алфёрова (удостоенного в 2000 году Нобелевской премии) были созданы излучатели с гетероструктурами. Гетероструктура – это «слоеный пирог» из полупроводников с различными показателями преломления и величинами запрещенных зон. Дополнительные слои позволяют «запереть» носители заряда внутри активного слоя и предотвратить попадание светового поля в области с высоким поглощением. При этом толщина активного слоя может составлять всего 6-8 нанометров. Изготовление гетероструктур представляет собой нетривиальную технологическую задачу, однако именно на их основе создаются современные светодиоды, обладающие мощностью порядка 1 Вт и КПД более 50 %. Фактически, решение этой задачи было наглядным результатом успешного использования размерных эффектов, которое позднее стали называть нанотехнологией. Основным методом формирования пленок толщиной порядка нескольких нанометров, применяемым в настоящее время является контролируемый транспорт газообразных исходных компонентов с последующим пиролитическим осаждением на нагретой подложке.

Обсуждая достоинства и недостатки светодиодных источников освещения, их часто сравнивают с обычными лампами накаливания. Между тем их реальными конкурентами являются люминесцентные (флуоресцентные) лампы, в которых источником света является газовый разряд. В производственных помещениях и офисах они используются повсеместно (лампы «дневного света»), и, хотя в жилом секторе доля энергосберегающих ламп (как правило, так называют компактные флуоресцентные лампы с цоколем E27 или E14, которые можно «вкрутить» вместо обычной лампочки) в России пока не велика (не более 3%, по данным Гринпис на 2009 год), ситуация будет стремительно меняться под влиянием принятого Государственной думой закона об энергоэффективности и энергосбережении. Попробуем сравнить светодиодные и флуоресцентные источники.

Параметр	Светодиодная	Флуоресцентная	Лампа накаливания
Средний срок службы	От 30000 до 100000 часов, чувствительны к включениям-выключениям	От 2 до 15 тысяч часов, небольшой разброс для различных производителей, возможно снижение при большой частоте включений-выключений	1000 часов, большой разброс от экземпляра к экземпляру, существенное снижение при большой частоте включений-выключений
Стоимость	Высокая: 2 тысячи рублей и выше	Приемлемая: от 50 до 500 рублей. Лампы с большим заявленным сроком службы и хорошей цветопередачей стоят дороже	Низкая: от 15 до 100 рублей.
Световая отдача	50-100 Лм/Вт, до 200 Лм/Вт перспективных	100 Лм/Вт - лампы с трехслойным люминофором и	15 Лм/Вт

	моделях	плохой цветопередачей, 50-80 Лм/Вт - лампы с пятислойным люминофором и хорошей цветопередачей	
Уровень комфорта	Высокий	Низкий для ламп с трехслойным люминофором, средний для ламп с пятислойным люминофором. Дешевые лампы могут мерцать, иметь задержку при включении и издавать неприятный звук.	Очень высокий
Экологичность	Высокая: Не содержит элементов, загрязняющих окружающую среду	Очень низкая: содержит пары ртути	Средняя: требует частой замены
Паразитное излучение, УФ/ИК	Нет	Очень высокое/приемлемое	Небольшое/очень высокое

Некоторые из приведенных параметров нуждаются в дополнительных комментариях. Так, нередко уровень комфортности освещения оценивают по тому, насколько его спектр близок к солнечному. Формально, существует параметр, называемый индексом цветопередачи, который определяет, насколько правильно передаются цвета освещаемых предметов. У флуоресцентных ламп с многослойным люминофором его величина может быть очень высокой (89 против 90 для ламп накаливания). Тем не менее, я лично знаю людей, которые отказались от энергосберегающих ламп (дорогих, с «теплым» светом), утверждая, что их свет «утомляет» и «раздражает», а исследования психо-физиологического фактора, проведенные фирмой OSRAM показали, что жители различных регионов (например, Европы и США предпочитают разные оттенки белого света для домашнего освещения. В светодиодных источниках могут быть использованы различные методы получения белого света: смешение трех основных цветов от отдельных излучателей («RGB» светодиод), нанесение люминофора на ультрафиолетовый излучатель, создание комбинационных излучателей (в которых активная область излучает синий свет, а подложка – желтый). У каждой технологии есть свои достоинства и недостатки. Очевидно одно: у светодиодной технологии чрезвычайно широкое поле для маневра.

Оценивая экономический эффект, необходимо учитывать не прямые расходы. Так, например, стоимость подключения предприятий к энергосети зависит от потребляемой мощности. Процедура замены ламп в больших производственных помещениях может требовать использования подъемников и значительных трудозатрат. Пульсации напряжения, характерные для отечественной сети, могут приводить к выходу из строя системы высоковольтного поджига флуоресцентных ламп и значительному сокращению срока их службы. Наконец, в помещениях с повышенной опасностью поражения электрическим током светодиоды, для питания которых используется напряжение в 2-3 В, являются идеальным источником. С другой стороны, полезно учитывать, что огромный срок службы светодиодов (до 100000 часов, или более 10 лет) не всегда может быть реализован на практике, поскольку за это время может возникнуть необходимость замены светильников по другим причинам (реконструкция помещения, повреждение, появление на рынке более привлекательных моделей). Помимо параметров, приведенных в таблице, обратить внимание следует на следующее: светодиодные источники освещения очень компактны, что

существенно расширяет круг возможных дизайнерских решений при их оформлении. Они несравнимо прочнее конкурентов и не представляют никакой опасности в случае разрушения, более того, поскольку светильник всегда содержит пакет светодиодов, выход из строя одного или даже нескольких из них не приведет к тому, что потребителю придется менять лампочку со свечкой в руках. Не будем забывать, что содержащие ртуть лампы нельзя просто выбрасывать, их следует сдавать на переработку (увы, это делает менее 1% россиян).

Достаточно ли приведенных аргументов для того, что бы потребитель немедленно приступил к замене устаревающих флуоресцентных ламп на светодиодные? Видимо, нет. Главным, едва ли не единственным препятствием к этому является высокая цена светодиодных ламп. Расчеты, проведенные для рынка США (стоимость электроэнергии - 11 центов за кВт, рост – 2.5% в год, предприятие, где освещение включено 12 часов в день 255 дней в году заменяет четырехдюймовые трубки T8 стоимостью на эквивалентные им по светоотдаче светодиодные панели стоимостью) показывают, что замена экономически целесообразна при сроке эксплуатации 5 лет и более (примерная продолжительность жизни флуоресцентных ламп).

В России стоимость электроэнергии уже выше, чем в США, и рост ее идет значительно быстрее. Принимая во внимание, что уже существуют опытные образцы полупроводниковых источников света со световой отдачей в 160 Лм/Вт, можно сказать, что, со временем, окупаемость светодиодных систем освещения будет происходить за меньшее время. Для средних и крупных потребителей речь может идти о весьма серьезной экономии: так, замена ста 60-ваттных лампочек, используемых по 12 часов в день, 255 дней в году на современные светодиодные светильники позволит снизить расходы на электроэнергию примерно на 50 тысяч рублей в год. Тем не менее, сдерживающим фактором, скорее всего, будет обычная для отечественного бизнеса сдержанность по отношению к инвестициям в основные фонды, не приносящим быстрой отдачи. Если же говорить о частных потребителях, то главным будет психологический барьер. Вероятно, большим спросом будут пользоваться изделия, использующие преимущества светодиодов: системы распределенного освещения, источники света, встроенные в декоративные элементы, источники с переменной окраской и яркостью, а не «заменители» лампочек с цоколем E14/E27. Но быстрый рост продаж и вытеснение конкурентов светодиодным источникам освещения может обеспечить только существенное снижение себестоимости. Если посмотреть на динамику развития полупроводниковых технологий, легко сделать вывод о том, что это произойдет неизбежно и в весьма недалеком будущем.



Светодиодные панели, разработанные для замены флуоресцентных трубок формата T8 (ламп «дневного света»)



Пассажирский салон аэробуса A320E со светодиодным освещением

Демон Максвелла реализован: описан эксперимент по превращению информации в энергию

В.В. Еремин

В.В.Еремин – профессор МГУ, доктор химических наук

По материалам статьи Toyabe S., Sagawa T., Ueda M., Muneyuki E., Sano M. "Experimental demonstration of information-to-energy conversion and validation of the generalized Jarzynski equality", Nature Physics doi:10.1038/NPHYS1821 (2010).

История вопроса началась в 1867 году, когда великий английский физик Дж. Максвелл предложил мысленный эксперимент для доказательства статистической природы Второго закона термодинамики. Слово «демон» для обозначения гипотетического устройства, разделяющего молекулы на «горячие» и «холодные», появилось несколько лет спустя. Долгое время считалось, что экспериментальная реализация мысленного эксперимента Максвелла позволит опровергнуть Второй закон, однако после долгих дискуссий физики, математики и химики пришли к единому мнению, что работа «демона» не нарушает Второй закон. Она сводится к превращению информации в энергию, причем закон сохранения энергии не нарушается – просто энергия под действием информации переходит из одной части системы в другую или черпается из окружающей среды.

Авторы настоящей работы предложили такую версию «демона». Представим себе микроскопическую частицу, находящуюся на спиральной лестнице, причем высота ступенек сравнима с энергией теплового движения kT , так что частица может за счет собственной энергии забраться на более высокую ступеньку, а может опуститься ниже (рис. 1.a). В среднем, вторые переходы происходят чаще, чем первые, поэтому за большой промежуток времени частица самопроизвольно опустится вниз на какое-то число ступенек.

Теперь включим в систему «демона», который наблюдает за перемещениями частицы и сразу после того, как она прыгнет на верхнюю ступеньку, поставит заслонку, блокирующую движение вниз, так что теперь частица может двигаться только в одном направлении – вверх. После следующего скачка ставится новая заслонка и т. д. В результате частица поднимается вверх по лестнице и ее потенциальная энергия все время растет. За счет чего это происходит? Первая мысль – за счет энергии, вносимой в систему при постановке заслонки. Однако, это не так – авторы утверждают, что эта энергия может быть сделана бесконечно малой (это – единственное спорное (**очень спорное**) утверждение в данной статье). На самом деле, энергия берется из окружающей среды под влиянием информации, получаемой при измерении положения частицы – то есть, информация превращается в энергию. Получается, что в основе неравномерного распределения энергии – управление с обратной связью.

Идея – достаточно простая и не оригинальная, аналогичное устройство было предложено еще в 1929 году американским физиком венгерского происхождения Лео Сциллардом. Но техническая реализация этой идеи потребовала большого экспериментального искусства. Вот как это было сделано. В стеклянную кювету размером несколько десятков микрон, заполненную буферным раствором, поместили частицу, состоящую из двух полистирольных шариков диаметром 287 нм, один из которых прикреплен с помощью молекулы-линкера к поверхности стекла, а другой может совершать вращательное броуновское движение (рис. 2.a). К противоположной поверхности подключили электроды, создающие переменное электрическое поле. Это поле вызывало поляризацию диэлектрика, из которого была изготовлена частица, и создавало для нее периодический потенциал с небольшим наклоном, который обеспечивал предпочтительное вращение в одну сторону (рис. 2.b). За движением частицы следили с помощью микроскопа, а сигнал записывали на высокоскоростную видеокамеру и передавали в компьютер. Как только оказывалось, что частица повернулась в «невыгодную» сторону, против поля, компьютер включал обратную связь и поле переключалось (рис. 2.c, правый столбец) – «демон» включался в работу. Если поле переключалось достаточно быстро, пока частица не вернулась обратно, ее новое

положение фиксировалось и энергия частицы увеличивалась, причем рост превышал затраты на переключение поля.

На рис. 3 показана траектория частицы под управлением «демона» – она напоминает движение вверх по потенциальной лестнице – тем самым мысленный эксперимент, описанный в самом начале, реализован с помощью коллоидной частицы в переменном электрическом поле с обратной связью.

В энергию в данном случае превратилась информация об угле поворота частицы. В идеальном случае, при полном переходе информации в энергию один бит превращается в энергию $kT \ln 2$. В эксперименте, описанном в статье, эффективность такого перехода оценивается в 28%. Но здесь важно не число, а сам факт, прецедент. Очень важно еще раз подчеркнуть, что энергия не взялась со стороны, она уже находилась в системе, информация просто помогла создать поток этой энергии внутри системы, который, на первый взгляд, противоречит Второму закону.

Что же будет дальше? Перспективы данной работы связаны с дальнейшим углублением в нано-область. Авторы предлагают использовать свой метод для передачи энергии наноустройствам, например наномоторам и надеются в будущем создать «демона Максвелла» не макро-, как в данной работе, а нано-размеров.

Но на мой взгляд, данная работа важна не приложениями, а демонстрацией фундаментальных принципов: 1) принципа перехода информации в энергию в результате обратной связи и 2) Второго закона термодинамики. Авторы еще раз экспериментально подтверждают, что для объединенной системы «частица в растворе + «демон» Второй закон не нарушается.

И все-таки, его можно нарушить! Правда, только для малых систем и в течение очень короткого времени – за счет флуктуаций. В 1993 году австралийские ученые доказали флуктуационную теорему, в которой аналитически найдена вероятность того, что диссипативный поток в фазовом пространстве движется в направлении, нарушающем Второй закон. Если на некоторой фазовой траектории за время t производится энтропия равная A (в относительных единицах), а на другой траектории энтропия уменьшается на эту же величину, то отношение вероятностей этих двух траекторий экспоненциально растет с ростом A : [Формула 1]

Поскольку энтропия – экстенсивная величина, она растет пропорционально числу частиц. Таким образом, для макроскопических систем энтропия A велика, и доля фазовых траекторий, на которых нарушается Второй закон, ничтожна – практически равна 0.

Эта теорема была проверена с помощью молекулярно-динамических расчетов и подтверждена в эксперименте (G. M. Wang et al., Phys.Rev. Lett. **89**, 050601 (2002)), где изучались траектории броуновского движения коллоидной частицы микронных размеров, находящейся в оптической ловушке. Число траекторий, подтверждающих и нарушающих Второй закон, количественно соответствовало флуктуационной теореме. Интересно другое: совершенно неожиданно выяснилось, что траектории, нарушающие Второй закон, могут наблюдаться в течение очень долгого (для флуктуаций) времени – вплоть до нескольких секунд. Разумеется, при t , стремящемся к бесконечности, «неправильные» траектории исчезают, в полном соответствии со Вторым законом. Так что законы природы выдержали еще одну экспериментальную проверку и как всегда устояли!

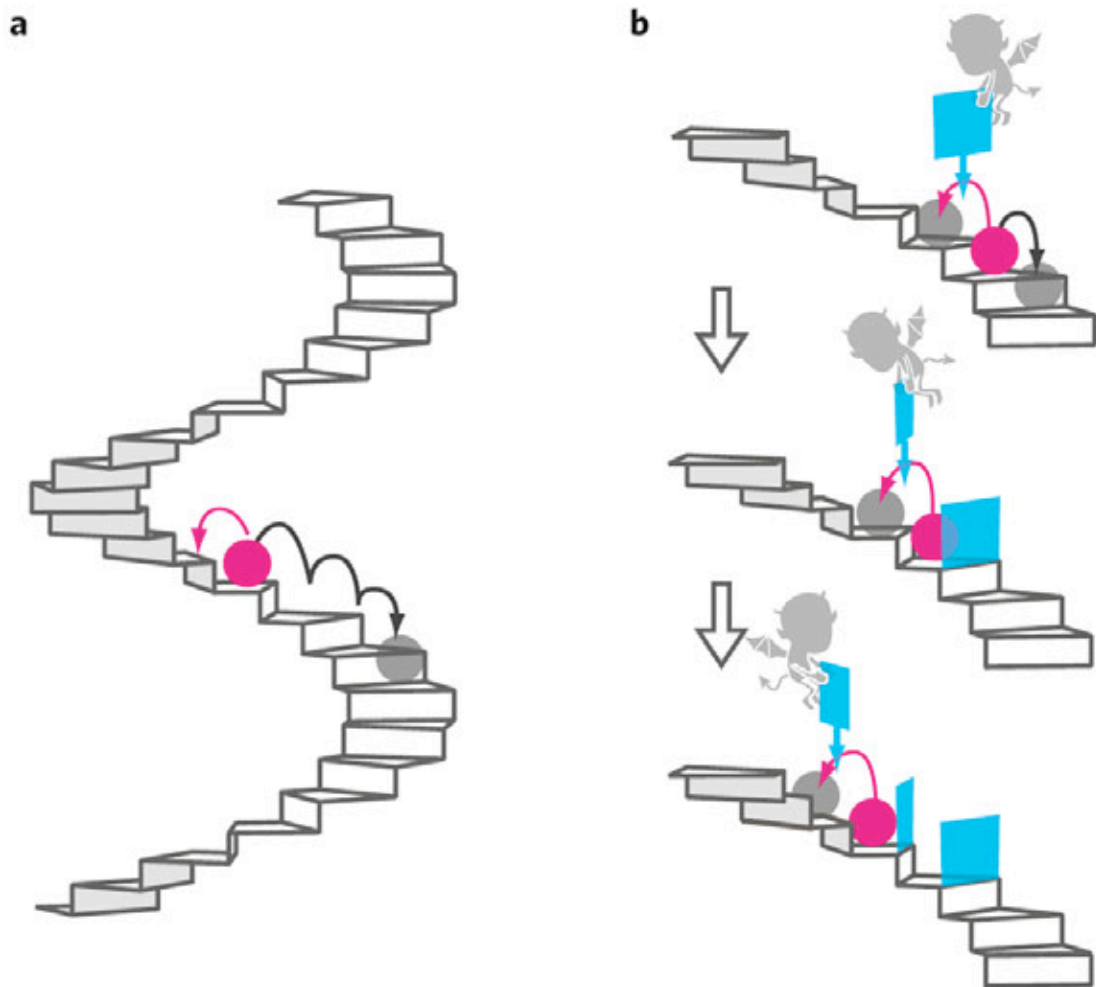


Рис. 1. а) Самопроизвольное движение частицы вниз по спиральной лестнице. б) Работа «демона» заставляет частицу карабкаться только вверх.

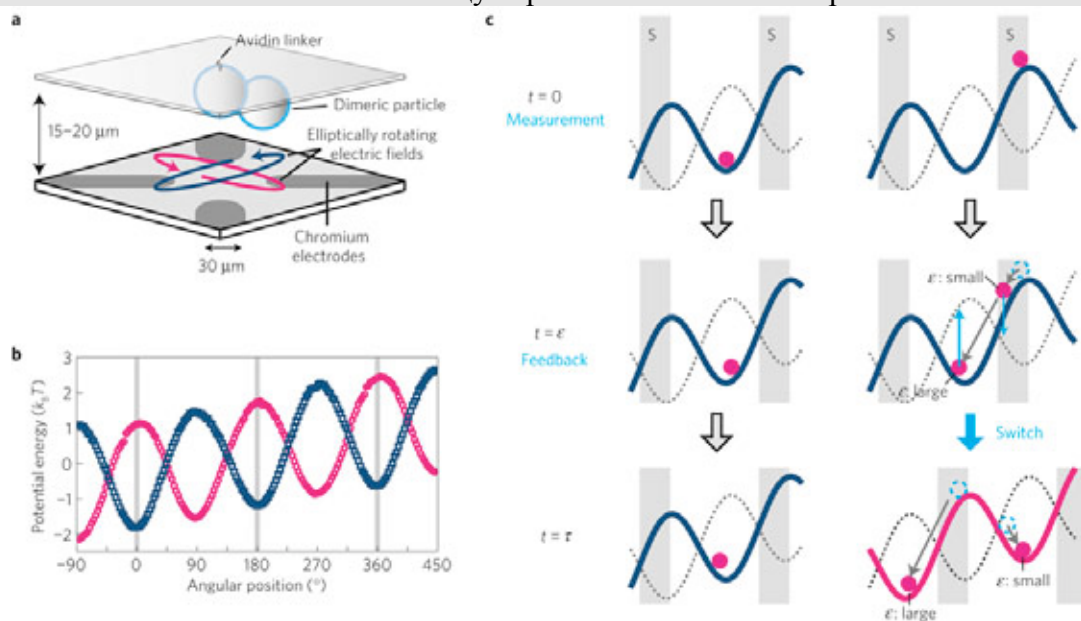


Рис. 2. а) Схема экспериментального устройства. б) Потенциальная энергия вращения частицы во внешнем электрическом поле. в) Управление с обратной связью: При повороте частицы в «невыгодную» сторону поле переключалось (правый столбец), в противном случае ничего не менялось (левый столбец).

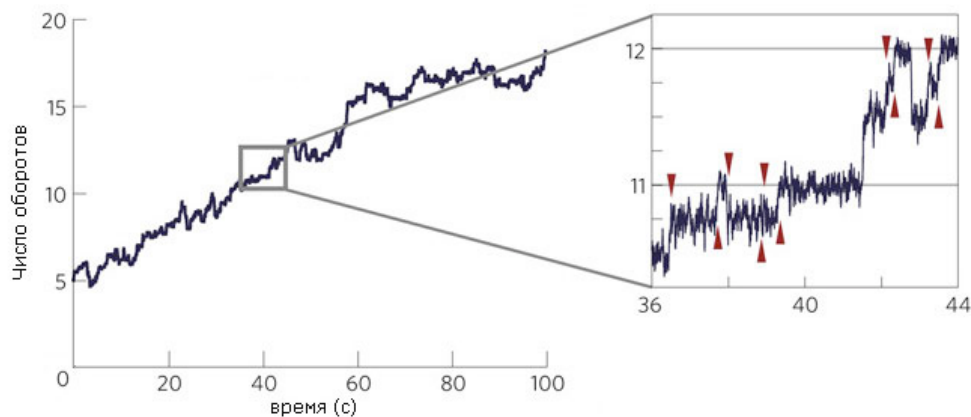


Рис. 3. Траектория углового движения частицы под управлением «демона». На вставке показан увеличенный фрагмент траектории. Красные треугольники обозначают моменты переключения

поля

$$\frac{\Pr(\sum_t = A)}{\Pr(\sum_t = -A)} = \exp(A)$$

Формула 1

Получение высокоэффективного композиционного вяжущего

К.А. Башлыкова, П.Е. Семенков, В.В. Широкий

Решение проблемы более рационального использования портландцемента возможно за счет применения композиционных вяжущих и комплекса технологических приемов, предусматривающих уменьшение содержания в нем малоактивных частиц путем более тонкого помола и предотвращения флокуляции частиц цемента, взаимодействия продуктов гидратации портландцементного клинкера с активированными тонкомолотыми минеральными добавками [1...3].

Получение высокоэффективных вяжущих веществ нового поколения сегодня сопровождается использованием сложных составов компонентов с целью получения высококачественных бетонов разного функционального назначения с улучшенными, а иногда и с принципиально новыми свойствами и определенной заранее заданной структурой. В основу создания таких вяжущих положен принцип целенаправленного управления технологией на всех ее этапах: использование активных компонентов, разработка оптимальных составов, применение химических модификаторов, использование механохимической активации компонентов и некоторых других приемов.

При изготовлении композиционных вяжущих процесс помола является основным по роли капиталовложений в оборудование. В ходе помола происходит физико-химическая активация компонентов, в дальнейшем определяющая свойства полученного композиционного вяжущего.

В качестве активного компонента вяжущего применялись цемент ЦЕМ I 42,5 Н и клинкер ЗАО «Белгородский цемент», в качестве химической добавки – суперпластификатор Полипласт СП-1 производства ООО «Полипласт Новомосковск», в качестве наполнителя – перлит Мухор-Талинского месторождения (Бурятия).

Суперпластификатор Полипласт СП -1 вводился при совместном помоле цемента (клинкера) с сухой добавкой, что обеспечивало капсулирование зерен цемента суперпластификатором.

При определении оптимальной дозировки суперпластификатора Полипласт СП -1, необходимой для получения композиционных вяжущих, проводили исследования с химическими добавками для бетонов методом мини-конуса.

После анализа зависимостей растекаемости цементного теста от концентрации добавки суперпластификатора Полипласт СП-1 (рис. 1) была принята следующая его дозировка – 1 % от массы вяжущего.

Получение композиционных вяжущих возможно с использованием как портландцементного клинкера, так и уже готового портландцемента.

Помол компонентов производился в центробежном агрегате с параллельными помольными блоками (ЦА ППБ) при постоянной во всех опытах загрузке (по массе) измельчаемого продукта и мелющих тел.

Для экономии клинкерной составляющей и регулирования свойств вяжущих варьировалось содержание минеральной добавки (перлита). Была установлена целесообразность замены клинкера и введения в состав вяжущего до 30 % без снижения прочностных характеристик и принят следующий исходный состав композиционного вяжущего: портландцементный клинкер + гипс – 70 % (гипс 5 % от клинкерной составляющей), наполнитель (кремнеземсодержащая добавка) – 30 %, суперпластификатор – 1 % от общей массы вяжущего.

Описание кинетики измельчения является одной из наиболее важных проблем при разработке общей теории процесса.

Большой практический интерес вызывает совместный помол цемента и минеральных наполнителей в присутствии суперпластификатора, что имеет место при получении композиционных вяжущих.

Для анализа этих процессов был произведен помол ряда составов, для которых были определены кинетические константы помола [4], представленные в табл. 1.

Таблица 1

Кинетические константы помола композиционных вяжущих

Состав вяжущих	Начальная скорость (U_0), $\text{м}^2/(\text{кг}\times\text{мин})$	Коэффициент торможения (k_t), $\text{кг}/\text{м}^2$	Коэффициент корреляции ($k_{\text{кор}}$)
ЦЕМ I 42,5 Н + Полипласт СП-1 + перлит	10,72	0,0012	0,9944
Клинкер + гипс + Полипласт СП -1 + перлит	10,1	0,0008	0,9537

Изменения прироста удельной поверхности композиционных вяжущих и их мгновенной скорости помола представлены на рис. 2.

Сравнивая фактическое значение мгновенной скорости помола композиционного вяжущего с расчетным, полученным путем сложения соответствующих долей скоростей помола в тех же условиях отдельных компонентов вяжущего видно, что во временном интервале до 40 мин (достаточном для получения КВ) имеет место взаимодействие компонентов, приводящее к взаимному ускорению помола. Причем, вероятно, большее значение имеет ускорение помола цемента и клинкера с кремнеземсодержащими добавками, так как обратный процесс не способен обеспечить такой прирост скорости.

Анализ полученных расчетных данных по начальной скорости помола и коэффициенту торможения, показал, что больший прирост удельной поверхности через 150 мин помола наблюдается у состава, состоящего из 70 % клинкера + гипс, 30 % перлита с добавкой суперпластификатора Полипласт СП-1. Этот состав, как видно из табл. 1, имеет сравнительно меньшую начальную скорость помола, равную $U_0 = 10,1 \text{ м}^2/(\text{кг}\times\text{мин})$, чем состав на цементе ($U_0 = 10,72 \text{ м}^2/(\text{кг}\times\text{мин})$), однако коэффициент торможения у него меньше, и составляет $k_t = 0,0008 \text{ кг}/\text{м}^2$, по сравнению с составом цемент + перлит + Полипласт СП-1 ($k_t = 0,0012 \text{ кг}/\text{м}^2$), что может быть обусловлено тем, что размолотый цемент вызывает более сильное вторичное агрегирование частиц, налипание на мелющие тела и корпус мельницы, что не наблюдается у клинкера.

Использование перлита в качестве минеральной добавки вносит существенное изменение в зерновой состав вяжущего (рис. 3), что обусловлено, в первую очередь, особенностями строения самой добавки.

Графики вяжущего на основе портландцемента имеют похожий вид с одним четким пиком в области крупных частиц. Вяжущие на основе клинкера имеют большое содержание мельчайших частиц в диапазоне 0,66...1,81 мкм. Введение минерального наполнителя при помоле вяжущего на основе клинкера смещает графики в область более мелких частиц, при этом кривые имеют несколько ярко выраженных пиков, по сравнению с портландцементом. Кривая вяжущего с перлитом имеет большое содержание мелких частиц в диапазоне 0,66...1,81 мкм.

Определены основные физико-механические характеристики композиционных вяжущих, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики композиционных вяжущих

Компоненты вяжущих	Прочность, МПа, в возрасте, сут					
	при изгибе			на сжатие		
	3 сут	7 сут	28 сут	3 сут	7 сут	28 сут
ЦЕМ I 42,5 Н	4,61	5,3	7,4	33,2	36,4	52,6
ЦЕМ I 42,5 Н + Полипласт СП-1	6,8	9,08	11,63	47,2	65,4	83,7
ЦЕМ I 42,5 Н + Полипласт СП-1+ перлит	7,34	9,69	12,45	50,7	66,9	87,1
Клинкер + гипс	7,73	9,45	10,65	54,9	79,4	96,2
Клинкер + Полипласт СП-1+ гипс	8,66	11,8	14,2	62,4	65,2	73,5
Клинкер + Полипласт СП-1 + перлит + гипс	7,26	9,33	12,65	52,3	67,2	90,5

На основании полученных данных анализа распределения частиц по размерам и физико-механических испытаний предлагается высокоэффективное композиционное вяжущее с прочностью на сжатие 90,5 МПа с использованием перлита в качестве минеральной добавки.

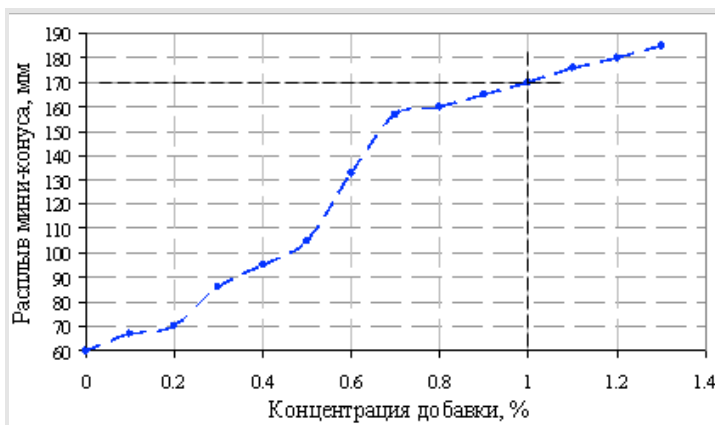


Рис.1 Зависимость растекаемости цементного теста от содержания суперпластификатора Полипласт СП-1

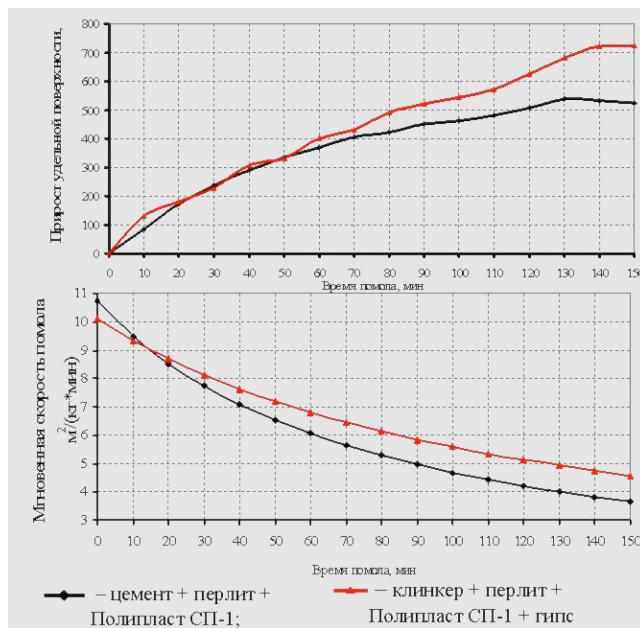


Рис.2 Зависимости прироста удельной поверхности и мгновенной скорости помола композиционного вяжущего от времени.

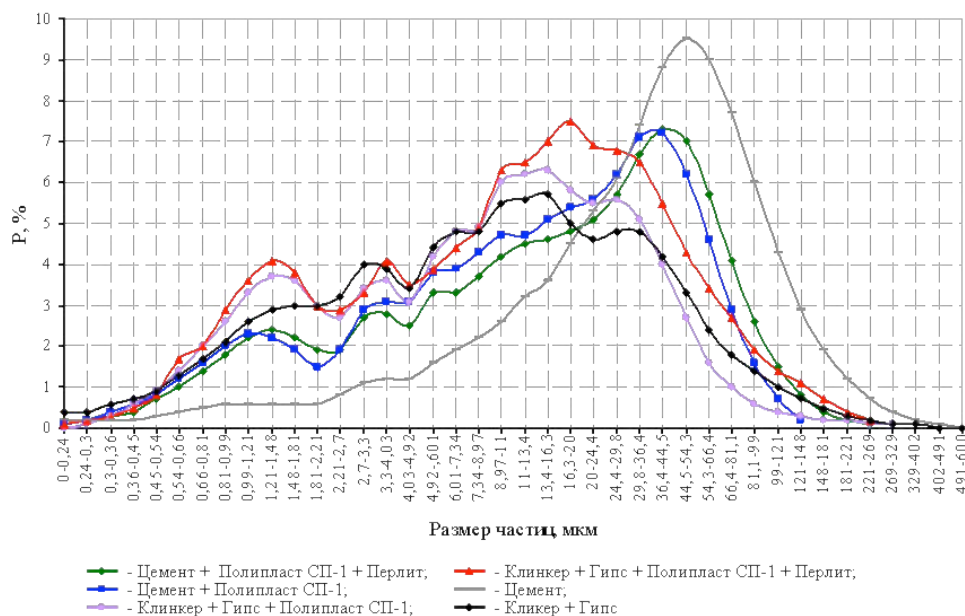


Рис.3 Распределение частиц композиционного вяжущего по размерам.

Список используемой литературы:

1. Кузнецова, Т.В. Механоактивация портландцементных сырьевых смесей [Текст] / Т.В. Кузнецова, Л.М. Сулименко // Цемент и его применение. - 1985. - № 4. - С. 20-21.
2. Юдович, Б.Э. Цемент низкой водопотребности: новые результаты и перспективы [Текст] / Б.Э. Юдович [и др.] // Цемент и его применение. – 2006. – Июль – август. – С. 80–84.
3. Сулейманова, Л.А. Неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих [Текст] / Л.А. Сулейманова, В.С. Лесовик, А.Г. Сулейманов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 152 с.
4. Рахимбаев, Ш.М. Расчет констант скорости некоторых процессов технологии искусственных конгломератов [Текст] / Ш.М. Рахимбаев // II Проблемы материаловедения и совершенствование технологии производства строительных изделий. – Белгород: БТИСМ, 1990. – С. 42–51.

О возбуждении. В комплексах.

В. В. Уточникова

В.В.Уточникова – аспирант ФНМ МГУ

Для начала определимся, что о возбужденном состоянии и его релаксации проще всего говорить в терминах молекулярных орбиталей. Напомним, что это такое, на простом примере молекулы формальдегида (Рис. 1): при образовании связей атомные орбитали кислорода, углерода и водорода могут комбинироваться с образованием соответствующих пар молекулярных орбиталей, часть из которых имеют энергию меньше средней энергии исходных орбиталей и называется связывающей, а другие – разрыхляющие орбиталь – имеют энергию, которая превосходит среднюю энергию исходных орбиталей. В основном состоянии электроны стремятся занимать орбитали с минимальной энергией, чем и определяется понижение энергии системы при образовании химического соединения.

Отметим также, что молекулярные орбитали могут быть равномерно распределены между несколькими атомами, а могут быть преимущественно локализованы на одном или нескольких из них. При этом каждой орбитали соответствует еще пара состояний, отличающихся суммарным

спином (Рис. 2): синглетное, которое, согласно правилу Хунда, имеет энергию выше средней, и триплетное с меньшей энергией.

Занятая в основном состоянии орбиталь с максимальной энергией называется высшей занятой молекулярной орбиталью (НОМО), а свободная орбиталь с минимальной энергией - низшей свободной молекулярной орбиталью (LUMO). Переход электронов с орбитали с меньшей энергией на орбитали с большей энергией и называется возбуждением.

Теперь рассмотрим более сложный пример координационного соединения металла М и лиганда L (Рис. 3). При его образовании молекулярные орбитали обычно можно разделить на орбитали с преимущественным вкладом атомных орбиталей металла и молекулярных орбиталей лиганда. Возбуждение, соответствующее переходам между этими орбиталями, мы будем называть LC (сосредоточенный на лиганде), MC (сосредоточенный на металле), MLCT (металл-лиганд) и LMCT (лиганд-металл). В зависимости от соединения низшее возбужденное состояние может быть одним из перечисленных (Рис. 4): в комплексах цинка энергия металла слишком высока, и возбуждение сосредоточено на лиганде. В комплексах металлов платиновой группы с аммиаком, напротив, в возбуждении участвует только металл. В комплексах металлов платиновой группы с органическими сопряженными лигандами возбуждение может быть по типу MLCT или LMCT в зависимости от лиганда и металла. Важно также не забывать, что разница энергий между триплетным и синглетным состояниями может изменять и упорядочение возбуждений разного типа (Рис. 5). К правилам здесь можно отнести то, что разность энергий $\{\Delta E(S-T)\}$ больше в случае «чистых» переходов (MC, LC), чем в случае переходов с переносом заряда (MLCT, LMCT). Поэтому нередки ситуации, когда возбуждение определяется одним типом перехода, а последующая люминесценция – релаксация возбужденного состояния за счет излучения света – с другим.

Большинство читателей могут прекратить ознакомление уже в этом месте, однако для самых смелых мы наконец суммируем все сказанное и представим диаграмму Яблонского, описывающую люминесценцию координационных соединений (Рис. 6). Итак:

1. Черной стрелкой показано возбуждение. Возбуждение может происходить на любой уровень, однако в основном с сохранением спина. Итак, после облучения комплекса квантом света он переходит в одно из возбужденных синглетных состояний.
2. Люминесценция возможна только с низшего возбужденного состояния! (Прим ред. - с этим трудно согласиться безоговорочно; корректнее сказать: в большинстве случаев люминесценция (переизлучение с сохранением спина) происходит с низшего возбужденного состояния)
3. Поэтому, если мы попали слишком высоко (Прим. ред: то есть если поглощенный фотон вызывает переход на высокие энергетические уровни), за счет внутренней конверсии молекула релаксирует до низшего возбужденного состояния (зеленая IC` с последующим черным пунктиром).
4. Теперь есть три возможных пути:
 1. продолжить безызлучательную релаксацию и, растратив всю энергию на вибрации плавно спуститься в основное состояние (салатовый IC с последующим черным пунктиром)
 2. спуститься в основное состояние, излучив квант света: такой переход с сохранением спина называется флуоресценцией (синяя стрелка)
 3. за счет перехода с изменением спина ("запрещенный", то есть менее вероятный переход) перейти в триплетное состояние (оранжевый ISC).
5. Попав на триплетный уровень, молекула также должна спуститься до низшего триплетного возбужденного состояния за счет колебательной релаксации
6. И, наконец, излучить квант света за счет излучательного перехода с нарушением спина – фосфоресценции (красная стрелка).
7. Разумеется, процессы дальнейшего переноса энергии могут происходить и дальше с триплетного уровня (фиолетовый ISC`).

Итак, какие из параметров этого процесса можно определить экспериментально?

1. По спектрам поглощения можно определить соответствующие поглощению переходы
2. По спектрам люминесценции – полосы эмиссии (излучения)
3. Измеряя отношение количества поглощенных фотонов и количества испущенных, можно измерить квантовый выход (Φ), как их отношение.
4. И, наконец, изучая кинетику люминесценции при единичном возбуждении, которая обычно описывается экспоненциальной зависимостью: $I = I_0 \exp(-k_{\text{obs}}t)$, можно определить время жизни возбужденного состояния $t = 1/k_{\text{obs}}$, где k_{obs} – наблюдаемая константа скорости процесса.

Поскольку процесс перехода является совокупностью нескольких процессов, то и наблюдаемая константа соответственно является суммой констант единичных процессов, их которых можно выделить излучательный (radiative) и безизлучательные (non-radiative). Тогда наблюдаемое время жизни $t = 1/k_{\text{obs}} = 1/(k_{\text{rad}} + k_{\text{nr}})$, где константу излучательного процесса мы будем называть k_f в случае флуоресценции и k_p в случае фосфоресценции. Таким образом, на основании диаграммы Яблонского, квантовый выход люминесценции можно представить как:

$$\Phi_f = k_f / (k_f + k_{\text{IC}} + k_{\text{ISC}})$$

$$\Phi_p = k_{\text{ISC}} / (k_f + k_{\text{IC}} + k_{\text{ISC}}) \times k_p / (k_p + k_{\text{ISC}})$$

В случае высокой эффективности перехода на триплетный уровень (т.е. если $k_{\text{ISC}} \gg k_f + k_{\text{IC}}$) выражение упрощается:

$$\Phi_p = k_p / (k_p + k_{\text{ISC}})$$

Поговорим подробнее о константе излучательного процесса. Она пропорциональна дипольному моменту перехода, $\text{TM} = \langle \psi_i | \hat{m} | \psi_f \rangle$, где ψ_i и ψ_f – волновые функции исходного и конечного состояния. Это выражение можно упростить, представив ТМ как произведение трех компонент:

$$\text{TM} = \int \theta_i \theta_f d\tau_N \int S_i S_f d\tau_e \int \phi_i \mu \phi_f d\tau_e$$

Здесь:

- Интеграл $\int \theta_i \theta_f d\tau_N$ соответствует ядерной компоненте и обозначает, что конфигурации ядер в основном и возбужденном состоянии должны перекрываться (Принцип Франка-Кондона)
- Интеграл $\int S_i S_f d\tau_e$ соответствует спиновой компоненте, которая теоретически равна нулю при изменении спина и единице при его сохранении
- Интеграл $\int \phi_i \mu \phi_f d\tau_e$ соответствует переходному моменту электрона и отвечает симметрии исходного и конечного состояния.

Как это работает? Для типичных органических молекул при комнатной температуре $k_{\text{rad}} \sim 10^8 \text{ сек}^{-1}$, и люминесценция наблюдается, если это сопоставимо с $(k_{\text{IC}} + k_{\text{ISC}})$. При этом из-за спинового запрета $k_p \sim 10^2 \text{ сек}^{-1}$ и меньше, что гораздо меньше k_{ISC} , так что фосфоресценция органических молекул при комнатной температуре отсутствует. Охлаждение до 77 К заметно снижает k_{ISC} , что делает возможным фосфоресценцию.

Теперь обратимся к безизлучательным процессам. Для этого нам придется вспомнить, что как бы ни была хороша диаграмма Яблонского, она отражает только равновесные энергии, при этом не учитывая того, что геометрия молекулы в основном и возбужденном состоянии отличается. Рассмотрим ситуацию, в которой минимумы энергии основного и возбужденного состояния сильно смещены в пространстве, то есть после возбуждения молекула сильно искажается, чтобы достичь минимума энергии возбужденного состояния (Рис. 7). При этом чем больше искажение, тем больше вероятность, что в процессе достижения минимума произойдет пересечение кривых основного и возбужденного состояния, молекула окажется на кривой основного состояния и

продолжит свой путь в равновесное состояние посредством понижения энергии безызлучательно. Чтобы этого не произошло, необходимо, чтобы геометрия молекулы в основном и возбужденном состоянии была почти одинаковой. Таким образом, важно запомнить: жесткость способствует люминесценции.

Это является причиной того, почему многие неорганические комплексы переходных металлов, чудесно окрашенные из-за поглощения света, совершенно не люминесцируют. Дело в том, что в таких комплексах происходит дополнительное расщепление уровней, повышающее энергию орбиталей, направленных к лигандам, и понижающее энергию других орбиталей (Рис. 8). Это приводит к тому, что переход с низшей на высшую орбиталь существенно изменяет геометрию комплекса и, соответственно, сильно увеличивает константы безызлучательных процессов. Также тут сказывается и низкая константа излучательного процесса, вызванная симметричным запретом. Редким исключением из этого правила является хром (III): возбужденное состояние в нем обусловлено не переходом между орбиталями, а изменением спина одного электрона (Рис. 9), из-за чего геометрия почти не меняется, и его люминесценцию каждый легко может наблюдать, включив рубиновый лазер.

Усложним процесс, введя органические лиганды и там самым уровни с переносом заряда. Здесь действуют те же правила. Так, интенсивно окрашенный за счет поглощения, вызванного MLCT перехода, комплекс железа с бипиридилем не люминесцирует: зазор между уровнем с переносом заряда и d-d уровнем железа так мал, что d-d уровень легко термически доступен, а он ведет к безызлучательной релаксации (Рис. 10). Переход ко второму и третьему ряду переходных металлов увеличивает его энергию, снижая константу скорости безызлучательных процессов. К тому же здесь проявляется и еще один эффект: спин-орбитальное взаимодействие, приводящее к различию энергии электрона с одинаковым орбитальным квантовым числом и разным спином, незаметное для легких атомов, проявляется все сильнее. А значит, так как мы не можем больше заменять угловой момент электрона его спином, переходы с изменением спина становятся разрешены, что повышает константу скорости фосфоресценции.

Все это и приводит нас к увлекательной химии люминесцентных комплексов металлов платиновой группы.

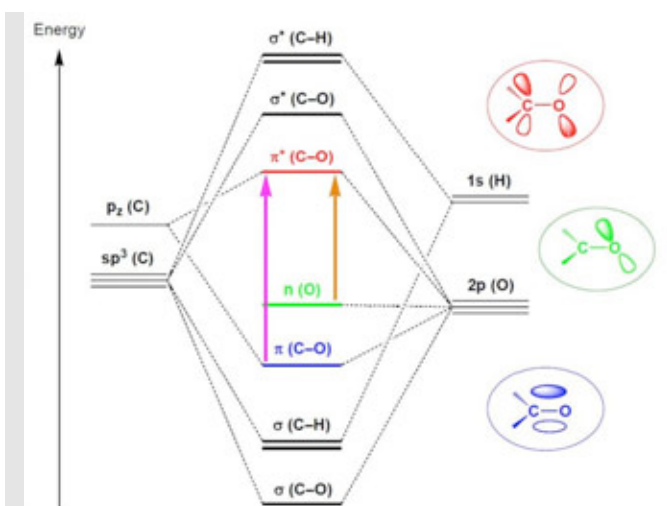


Рис. 1

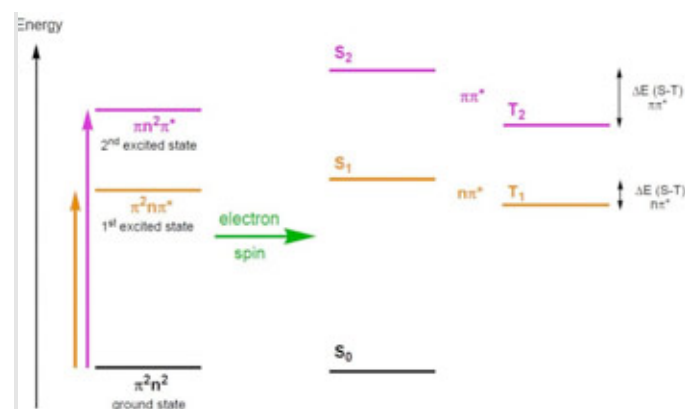
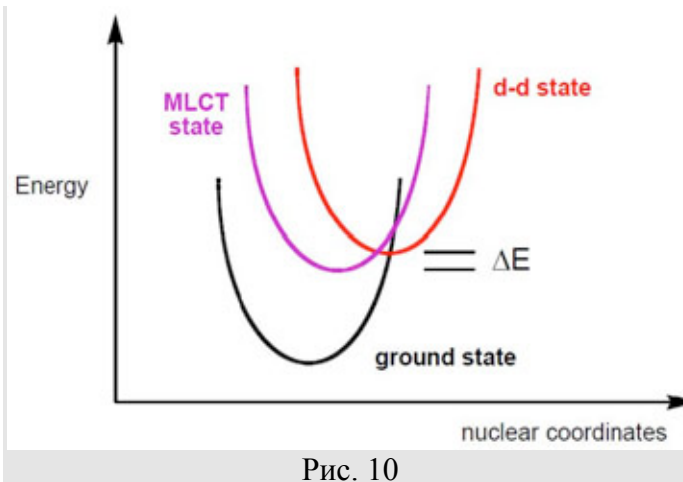
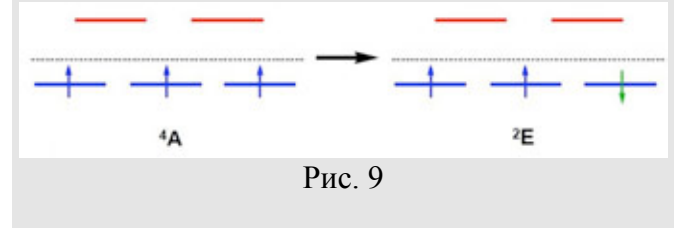
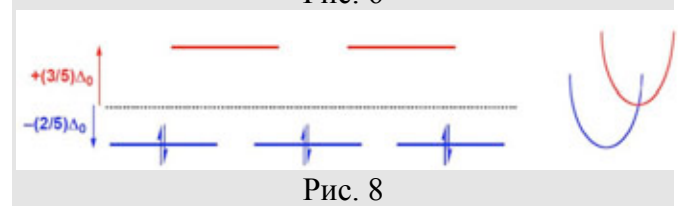
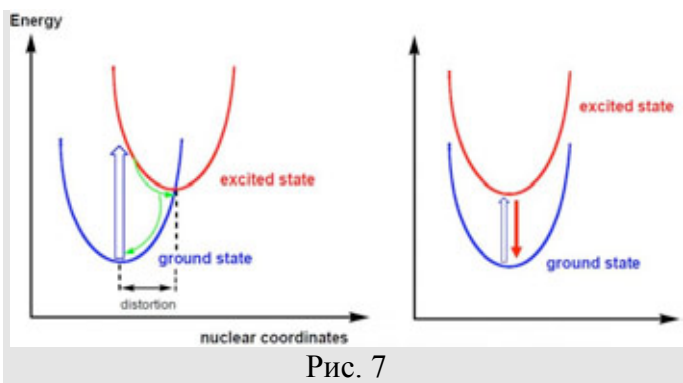
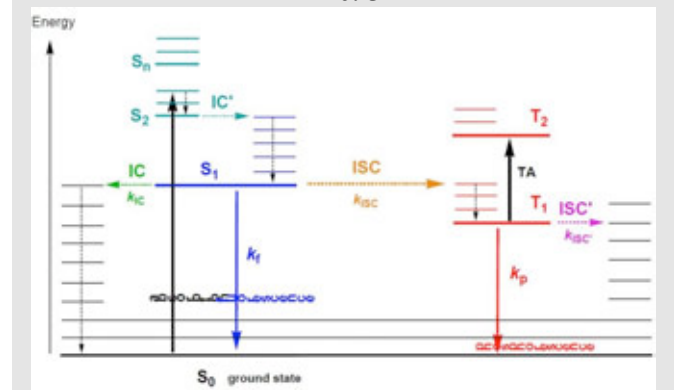
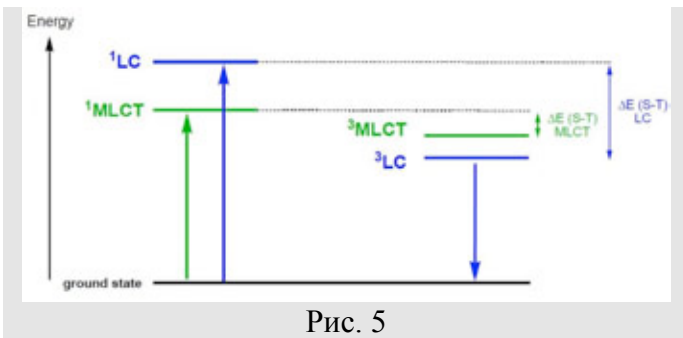
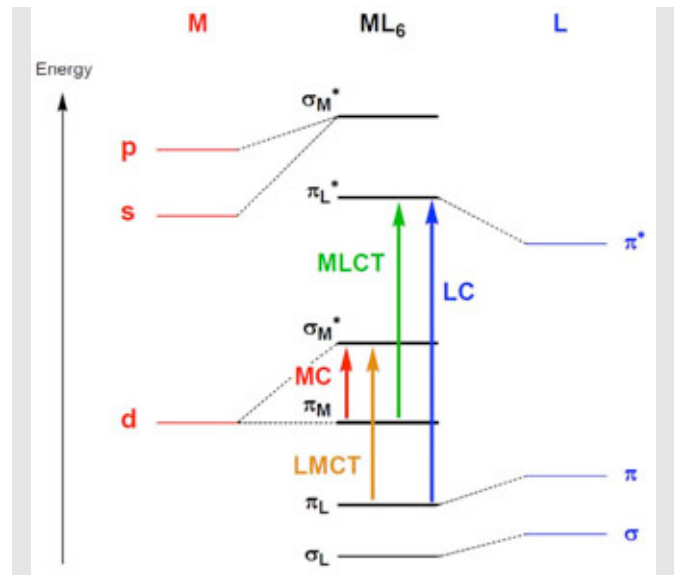
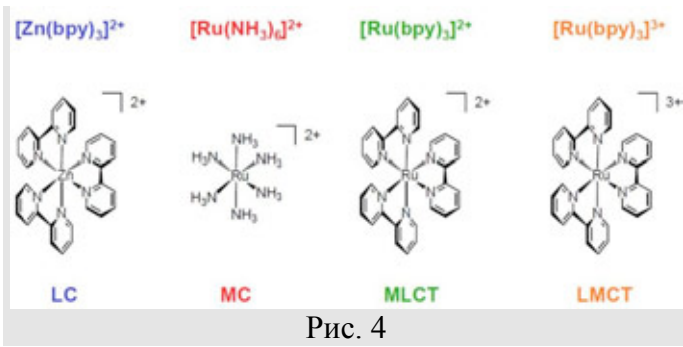


Рис. 2



Сверхпроводимость. Все еще в неопределенности

Nature 475, 280-282 (2011) автор: Adam Mann, перевод: В.В.Уточникова (аспирант ФНМ МГУ)

В 1987 об этом говорили даже в ночных клубах Нью-Йорка. Слухи о новом изобретении физиков ходили месяцами. Газеты, журналы и утренние ток-шоу пестрили репортажами из лабораторий. Казалось, что чудесная эра левитирующих поездов вот-вот наступит. Вечером 18 марта 1987 года более чем 1800 членов Американского физического общества собрались в зале отеля Хилтон, еще более 2000 осталось снаружи, ожидая начала конференции "Woodstock of physics", посвященной явлению высокотемпературной сверхпроводимости. Высокотемпературная сверхпроводимость - понятие довольно относительное. До 1986 года наблюдать сверхпроводимость при температурах выше 23 К возможным не представлялось. Максимальная критическая температура наблюдалась у сплава Nb_3Ge ($T_c=23K$). Считалось, что это фундаментальный предел, перешагнуть который мы не в силах.

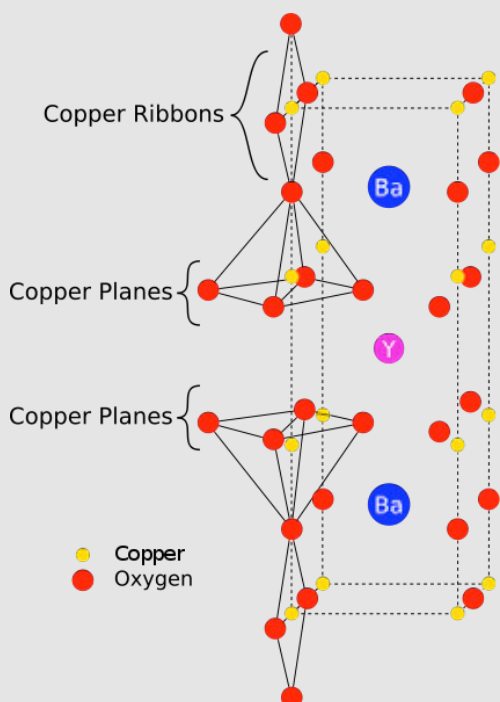
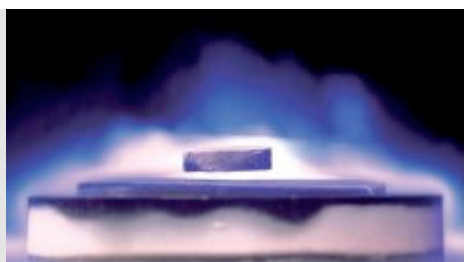
Однако в июне 1986 года физики Георг Беднорц (Georg Bednorz) и Алекс Мюллер (Alex Mueller) из лаборатории ИВМ в Цюрихе (Швейцария) получают удивительный результат - в керамическом соединении La-Ba-Cu-O обнаружена сверхпроводимость при температуре 35 К - выше "фундаментальной" критической. Вскоре эстафета была перехвачена в США. Через полгода из университета Хьюстон приходит новость о сверхпроводимости в соединении Y-Ba-Cu-O уже при 93 К (Yttrium barium copper oxide, $YBa_2Cu_3O_7$), синтезированном американско-китайским физиком Полом Чу (Paul Chu). Что больше всего удивляло физиков, так это тот факт, что сверхпроводимость была обнаружена в керамическом соединении, обычно проявляющем диэлектрические или полупроводниковые свойства. В настоящее время рекордным значением критической температуры $T_c = 135$ К (под давлением $T_c=165$ К) обладает вещество $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+x}$, открытое в 1993 г. С. Н. Путилиным и Е. В. Антиповым (Химический факультет МГУ).

Сверхпроводимость при 35 К, а затем и 93 К. Эта новость стала громкой сенсацией и вызывала неподдельный интерес. Теперь для охлаждения до температуры в 93 К вполне подходил более дешевый жидкий азот, а не гелий, что означало удешевление технологии. Но это было не главным, что так взбудоражило присутствующих. Подогреваемая любопытством, аудитория гудела: если существует сверхпроводимость при 93 К, то почему бы ей не существовать и при комнатной температуре, ведь тогда сверхпроводники наконец-то можно будет использовать для передачи электроэнергии... И ученым пришлось пересмотреть свои представления о механизмах проводимости при низких температурах, однако сделать это оказалось совсем непросто. До сих пор нет последовательной теории высокотемпературной сверхпроводимости, а существующие модели до конца не объясняют всех особенностей этого явления.

Для того, чтобы разобраться в явлении обычной сверхпроводимости, открытой 100 лет тому назад в лаборатории Камерлинга Оннеса в 1911 году, понадобилось более чем 50 лет. Ученые не могли понять: почему с понижением температуры до некоторой критической величины сопротивление металла падает до нуля, хотя теория металлов предсказывала, что при абсолютном нуле проводимость должна отсутствовать. В 1957 году на помощь приходит теория БКШ (Бардина-Купера-Шриффера), по сути своей основанная на законах квантовой механики. В ее основе лежит представление о сверхтекучести куперовских пар - связанных пар электронов с противоположными спинами и импульсами, которые при определенной температуре могут совершенно свободно перемещаться по кристаллической решетке металла. Вот одно из более наглядных объяснений причин образования куперовских пар. При перемещении электрона в кристаллической решетке он отдает часть своего импульса расположенным вблизи положительным ионам. Ионы смещаются вдоль траектории электрона и в течение некоторого времени возвращаются в свое первоначальное положение. Таким образом, позади движущегося электрона наблюдается область избыточного положительного заряда, которая является центром притяжения другого электрона с противоположным импульсом. Когда второй электрон попадает в

образовавшуюся потенциальную яму, между парой электронов возникает притяжение (возникает куперовская пара). Это взаимодействие происходит только между электронами, расположенными вблизи уровня Ферми, находящимися в S-состоянии. При низких температурах число таких пар очень велико. Происходит перекрытие квантовомеханических волновых функций и совокупность куперовских пар представляет собой уже конденсат. Электронные пары имеют целочисленный спин и подчиняются статистике Бозе, а неидеальный бозе-газ (между частицами которого существует отталкивание, а в нашем случае оно существует) при низких температурах обладает свойством сверхтекучести. Так как пары заряжены, их сверхтекучее движение соответствует появлению сверхпроводимости.

Большинство ученых считает, что фононная модель взаимодействия (БКШ теория) в случае высокотемпературной сверхпроводимости все же неприменима. При более высоких температурах энергия тепловых колебаний превышает энергию связи куперовской пары. Существует и "рафинированный" механизм фононной теории - теория биполяронов. Здесь в качестве носителей заряда рассматриваются поляроны (электрон и фононное "облако"). Однако большая эффективная масса поляронов ставит под вопрос возможность существования сверхпроводимости при высоких температурах. Другое направление теории высокотемпературной сверхпроводимости связано с магнитными свойствами вещества. Например, спаривание электронов из-за нарушения спинового порядка. Однако полного понимания механизма высокотемпературной сверхпроводимости еще нет. Сейчас уже никто не отрицает, что для создания полной теории нужно время. Иногда бывает так, что непонятно, что именно нуждается в объяснении. 15 лет тому назад, например, было открыто, что в допированных положительно купратах электронные пары формируются в диапазоне температур выше критической. В этом состоянии в материале образуются области со сверхпроводимостью. Некоторые считают, что это состояние материала является как бы прекурсором для обычной сверхпроводимости, наблюдаемой во всем образце ниже критической температуры. Другие - резко отрицают это. Но кто прав покажет время. В любом случае, в споре рождается истина.



The Woodstock of Physics, март 1987, отель Хьюстон



Георг Берднорц (Georg Bednorz) (слева) и Алекс Мюллер (Alex Mueller)

Структура кристаллической решетки
 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$



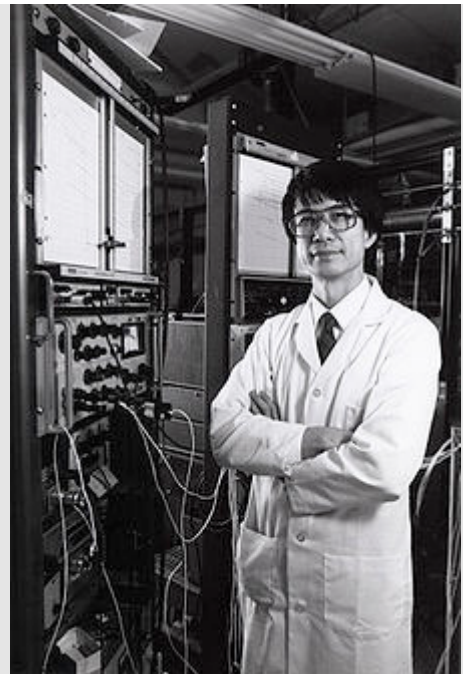
Е.В. Антипов



Хайке Камерлинг Оннес (Heike Kamerlingh Onnes) (первый ряд по центру) со своими коллегами



Джон Бардин (John Bardeen), Леон Купер (Leon Cooper) и Роберт Шриффер (Robert Schrieffer)



Пол Чу (Paul Chu)



С.Н. Путилин

Набрахбр: Вскрытие чипа Nvidia 8600M GT

Е.А. Смирнов

Е.А. Смирнов – аспирант ФНМ МГУ

Предисловие

Года 3-4 назад судьба распорядилась так, что в руки мне попал ноутбук Asus G2S. Счастье моё длилось ровно до прошлой зимы, когда ни с того, ни с сего на экране стали появляться артефакты, особенно при запуске игрушек или «мощных» приложений, активно работающих с видеочипом. В результате оказалось, что проблема именно в нём. Nvidia для практически всей геймерской линейки G2 поставляла видеочипы с браком (отслоение контактов между самим кристаллом и подложкой), который обнаруживался лишь через пару лет интенсивной работы. Решение было однозначным – замена видеочипа. Но что делать со старым?! Ответ на этот вопрос пришёл на редкость быстро...

Дело в том, что в качестве «хобби» я читаю лекции в СУНЦ МГУ (школа Колмогорова), и меня давно просили подготовить материал по микро и наноэлектронике, где бы объяснялось как, где и в каких условиях производят флешки, процессоры и т.д. А тут такой ценный образец пропадает, так что буквально через день старенький видеочип лежал под алмазным кругом микротомы.

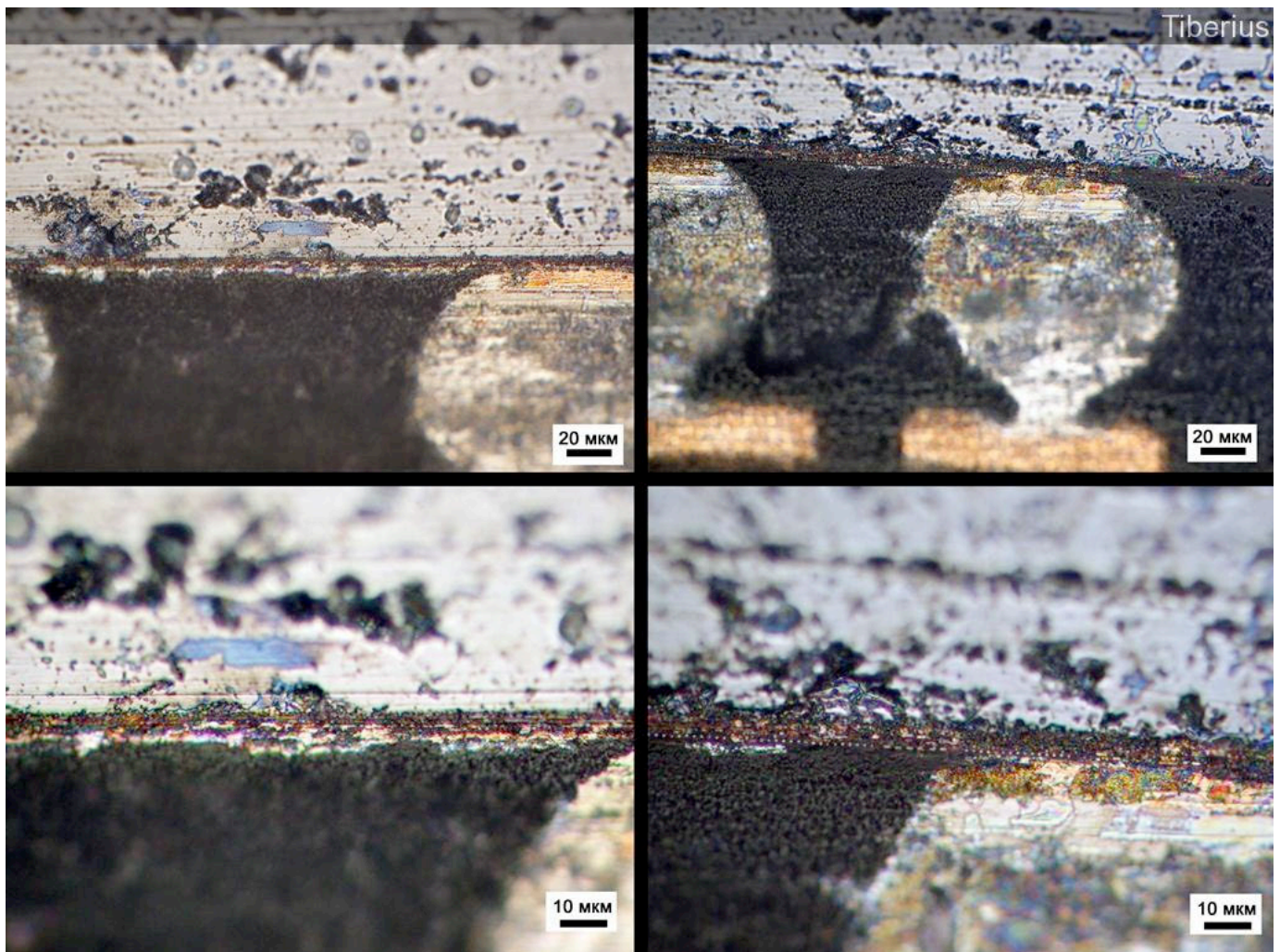


Наш старенький, но добротный Accutom-2. В корпорации добра даже нормальной фотографии этого девайса не нашлось.

Наверное, поступил глупо, что не снял видео процесса разрезания самого чипа, но что поделать – c'est la vie. Когда в руках у меня оказалось 3 части, то разочарованию не было предела. Оказалось, что срез был довольно грубым (хотя я рассчитывал, что микротом сможет разрезать ровно и оставить после себя гладкую поверхность), и пришлось ещё долго и упорно шлифовать и полировать торцевую поверхность чипа, которую я затем рассмотрел под электронным микроскопом.

О пользе полировки

Кстати, польза от полировки видна невооружённым взглядом, точнее вооружённым, но только оптическим микроскопом:



Слева фотографии до полировки, справа – после. Верхний ряд фотографий – увеличение 50х, нижний – 100х.

После полировки (фотографии справа) уже на увеличении 50х видны медные контакты, соединяющие отдельные структуры чипа. До полировки, они, конечно же, тоже проглядывают сквозь пыль и крошку, образовавшуюся после резки, но разглядеть отдельные контакты вряд ли удастся.

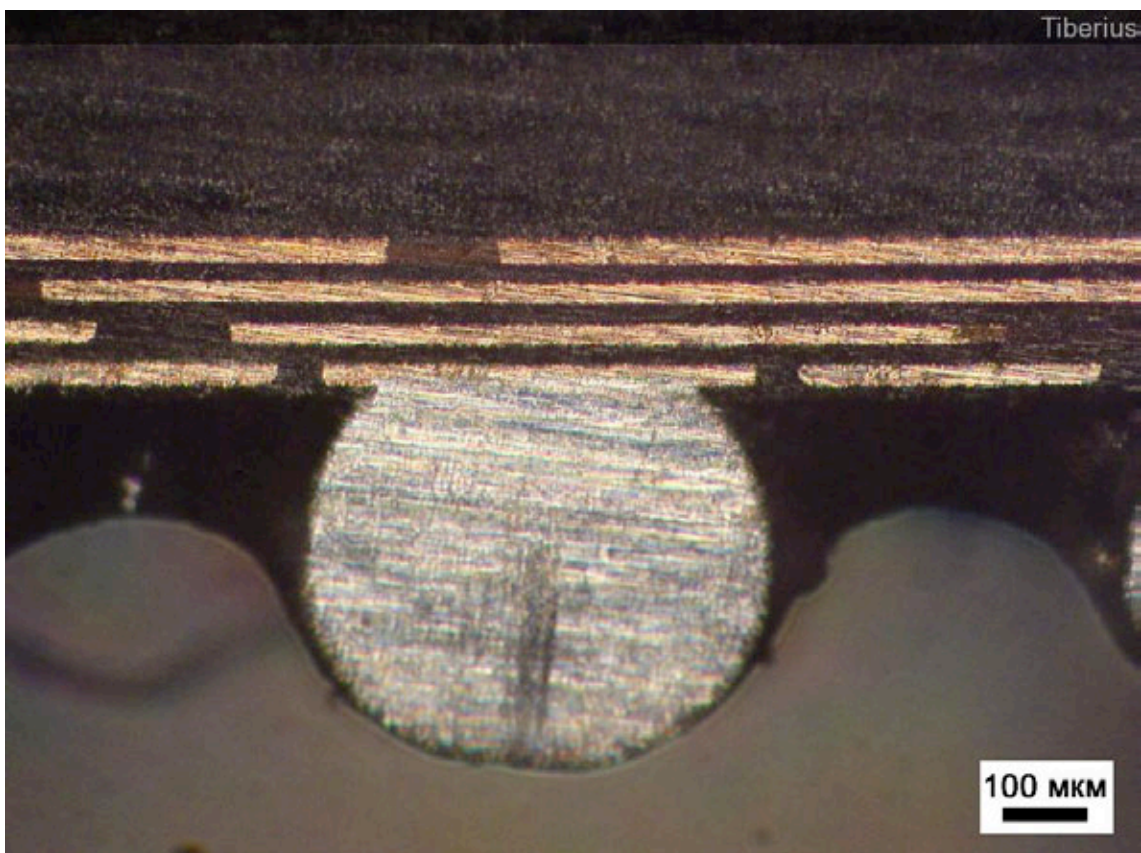
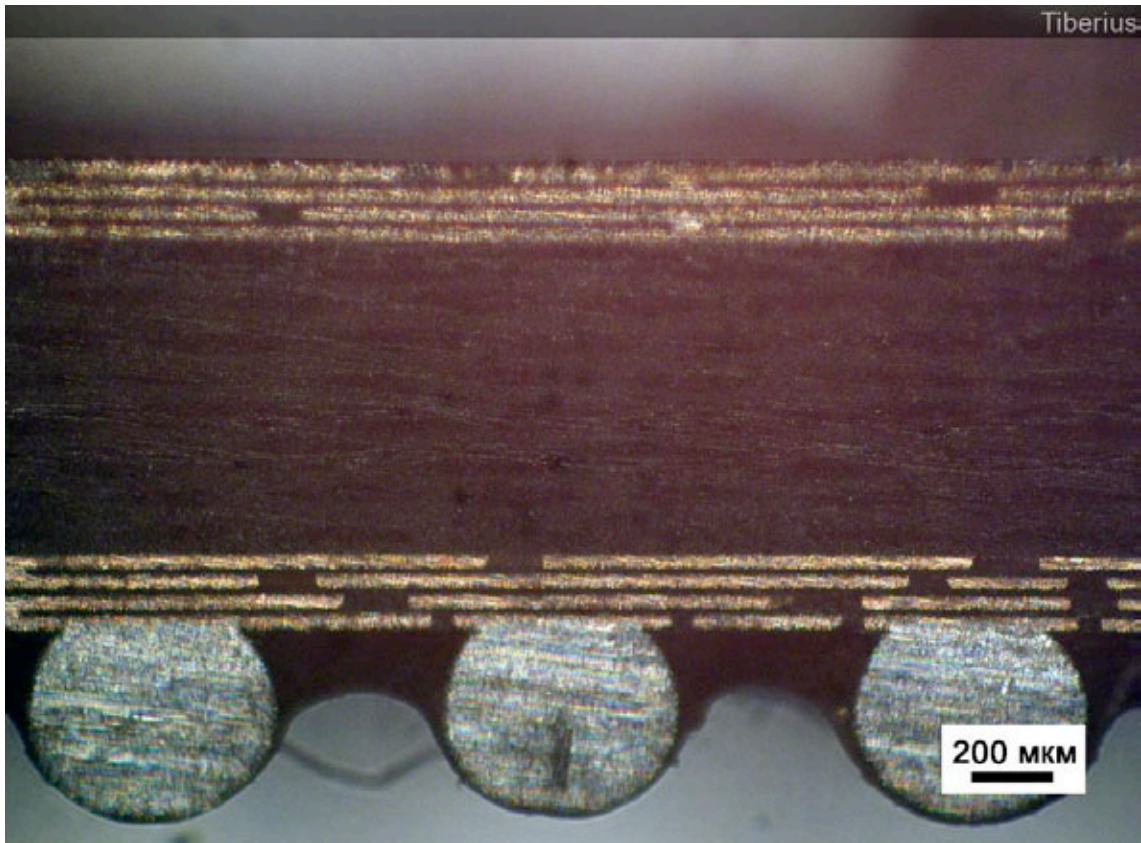
Электронная микроскопия

Оптика даёт 100-200 крат увеличения, однако это не идёт ни в какое сравнение с 100 000 или даже 1 000 000 крат увеличения, которое может выдать электронный микроскоп (теоретически для ПЭМ разрешение составляет десятые и даже сотые доли ангстрема, однако в силу некоторых реалий жизни такое разрешение не достигается). К тому же, чип изготовлен по техпроцессу 90 нм, и увидеть с помощью оптики отдельные элементы интегральной схемы довольно проблематично. А вот электроны вкупе с определёнными типами детектирования (SE2 – вторичные электроны) позволяют визуализировать разницу в химическом составе материала и, таким образом, заглянуть в самое кремниевое сердце нашего пациента, а именно узреть сток/исток, но об этом чуть ниже.

Печатная плата

Итак, приступим. Первое, что мы видим – печатная плата, на которой смонтирован сам кремниевый кристалл. К материнской плате ноутбука он крепится с помощью BGA пайки. В ходе разработки лекции для школьников я пользовался довольно подробными публикациями от компании Intel на Хабре, однако недавно нашёл пару видео фрагментов с канала Discovery о кремниевой электронике. Например, в этом видеофрагменте рассказано о том, как кремниевый

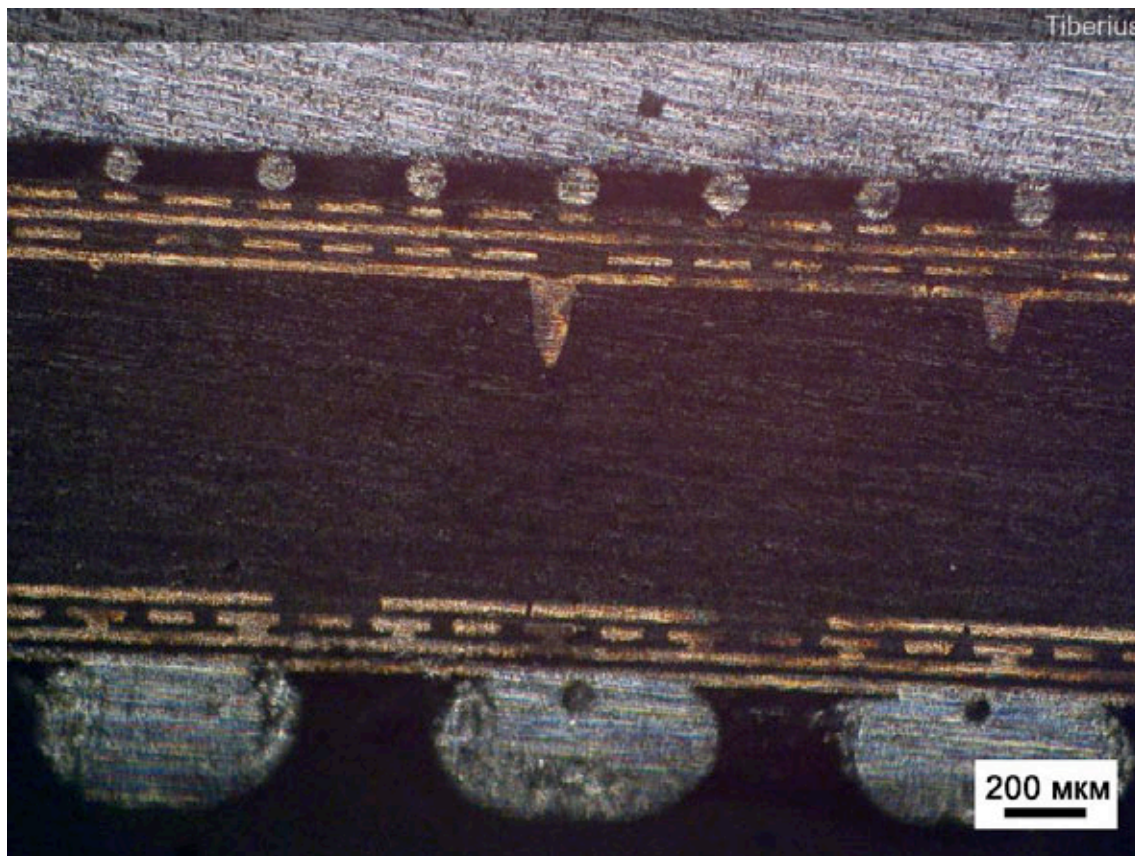
чип устанавливается на подложку, а также как эти маленькие (~0,5 мм в диаметре) оловянные шарики упорядоченно размещаются на печатной плате. Китайцы с их трудолюбием и усердием тут совершенно ни при чём (Видео на youtube).



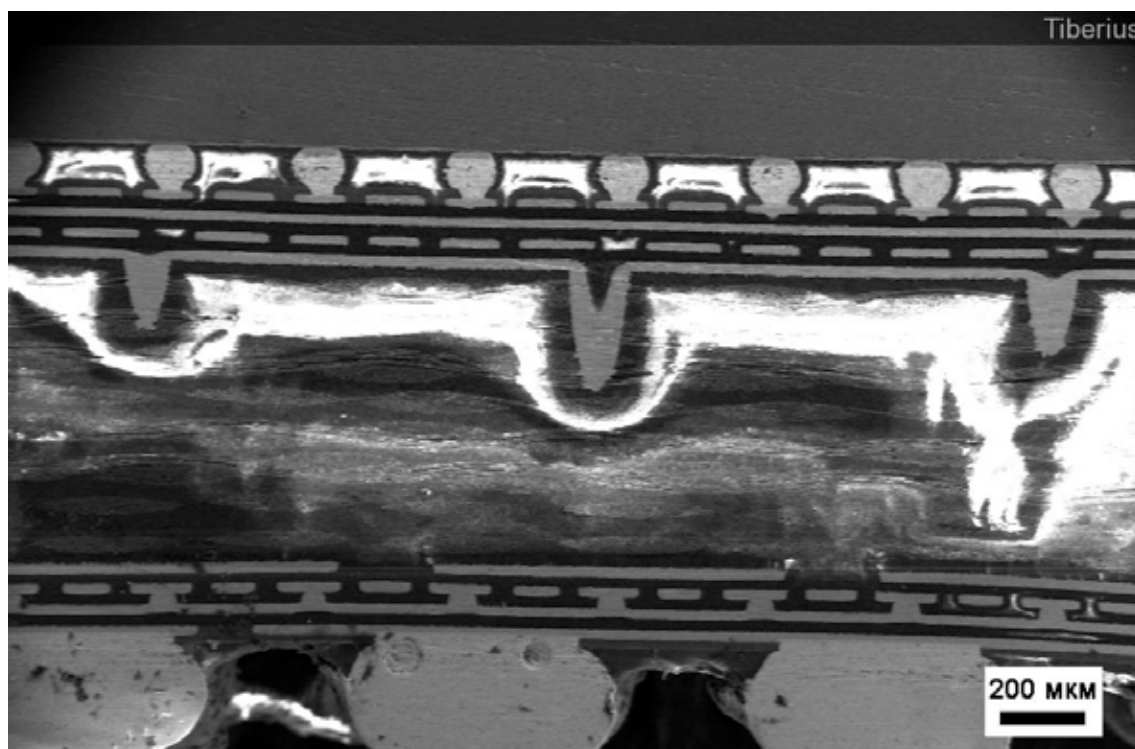
BGA пайка.

Сам же кристалл устанавливается на некое подобие BGA, давайте назовём его «mini»-BGA. Это те

же шарики из олова, которые соединяют маленький кусочек кремния с большой многослойной печатной платой, только их размер гораздо меньше.

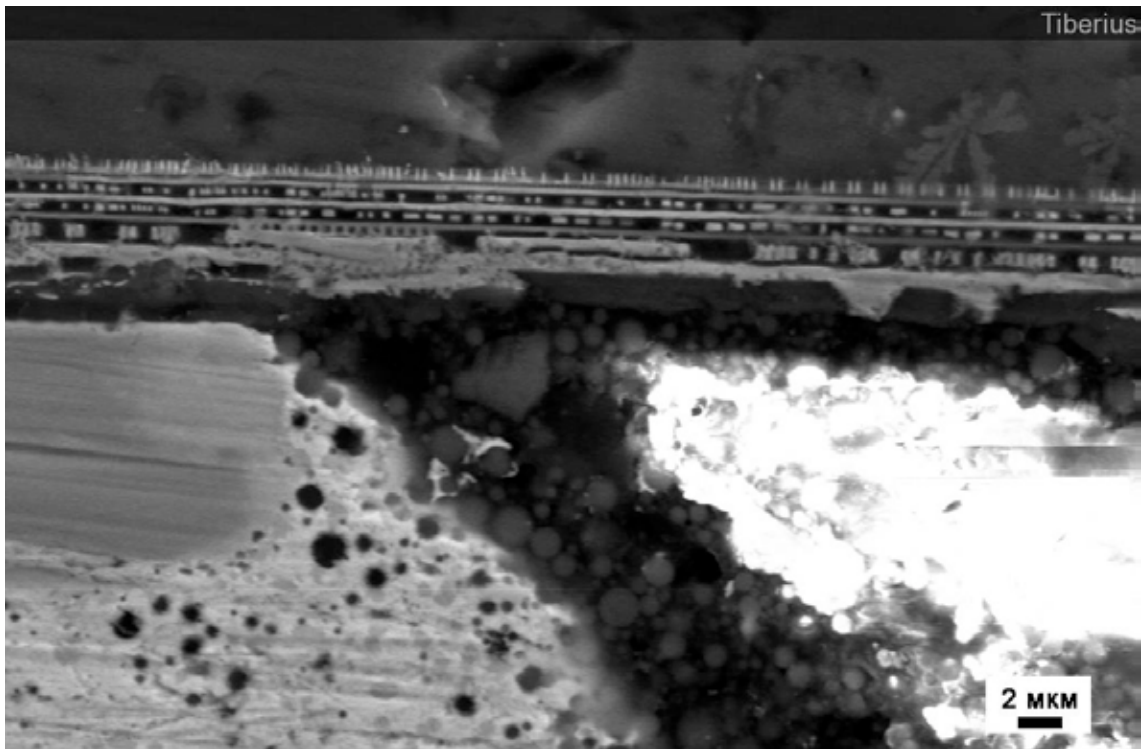


Сравнение BGA и mini-BGA пайки.



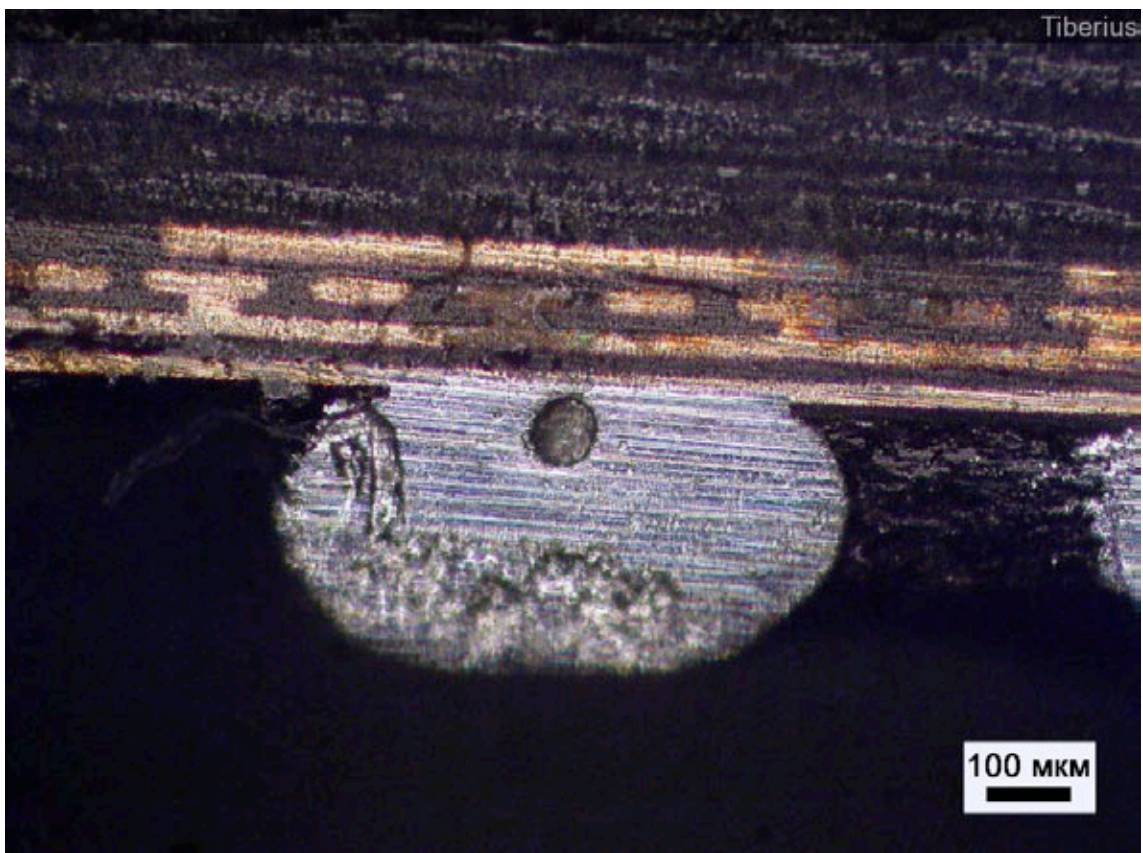
Сравнение BGA и mini-BGA пайки.

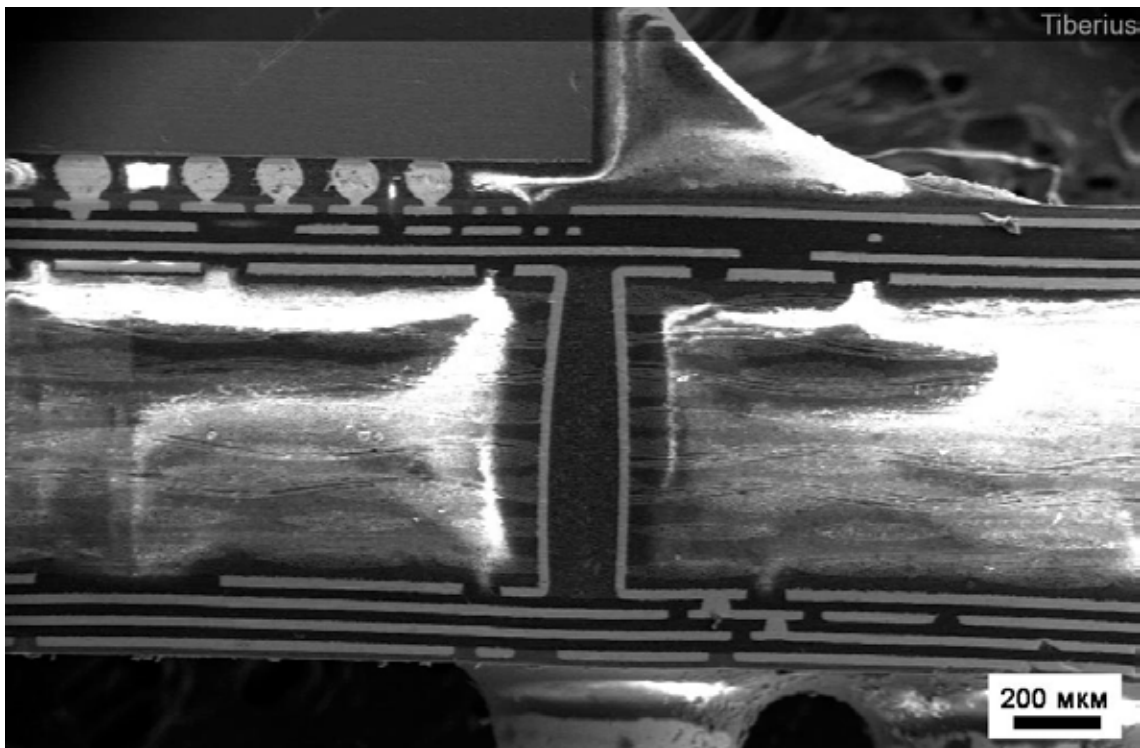
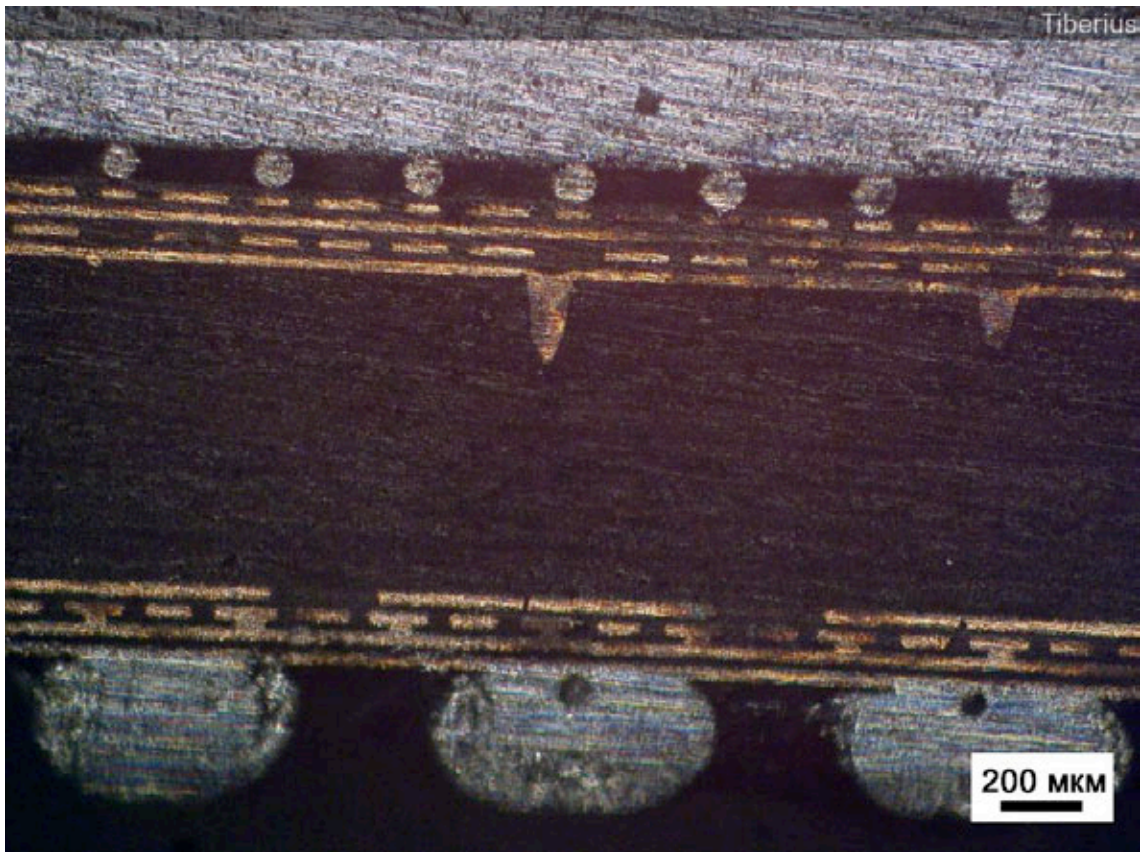
Кстати, между кристаллом и печатной платой находится очень много «шариков», которые, по всей видимости, являются своего рода заполнителем пустого пространства между этими элементами и, возможно, способствуют отводу тепла от самого чипа к РСВ.



Множество шарообразных частиц заполняют пространство между чипом и печатной платой. А вы видите уже проглядывающие контакты на самом видеочипе?!

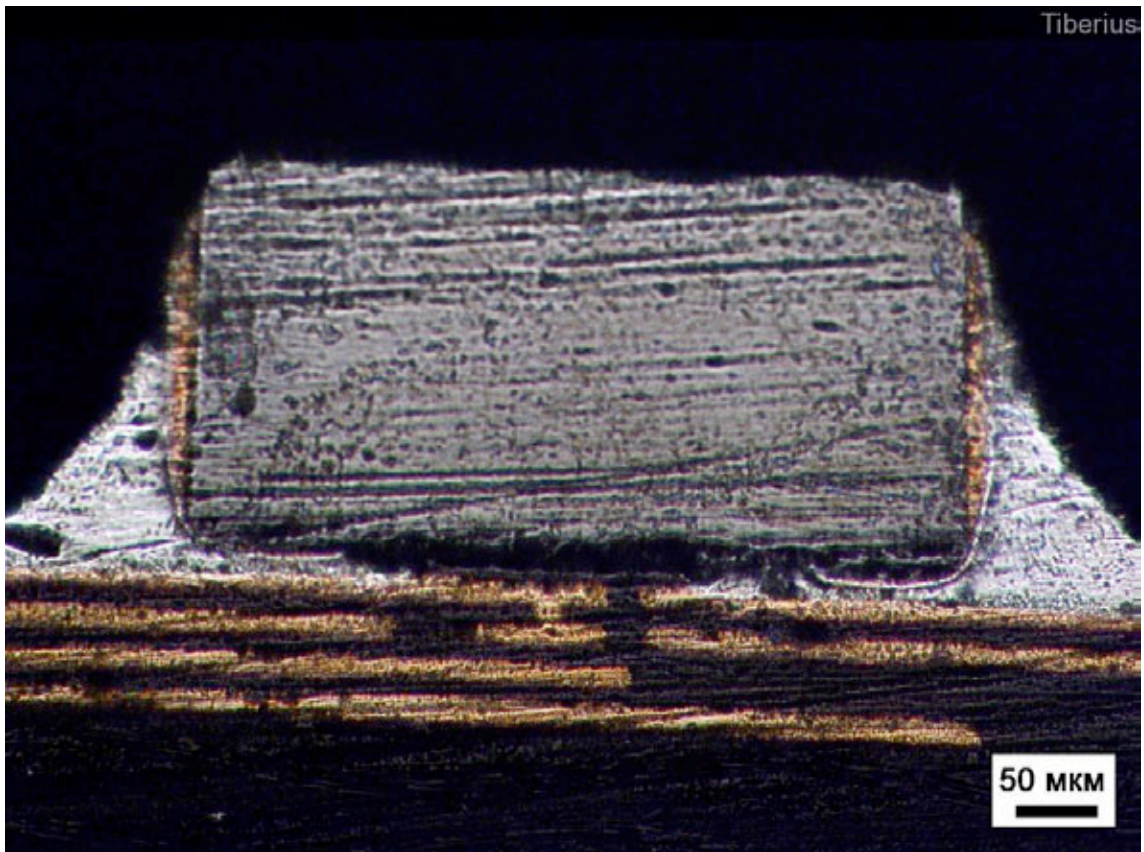
Далее будет немножко фотографий самой печатной платы. Она оказалась 8-ми слойной, причём все слои так или иначе соединены между собой. И ещё – материал платы «волнистый», это заметно, как на оптических фотографиях, так и на изображениях, полученных с помощью электронного микроскопа. Кто знает, почему?!



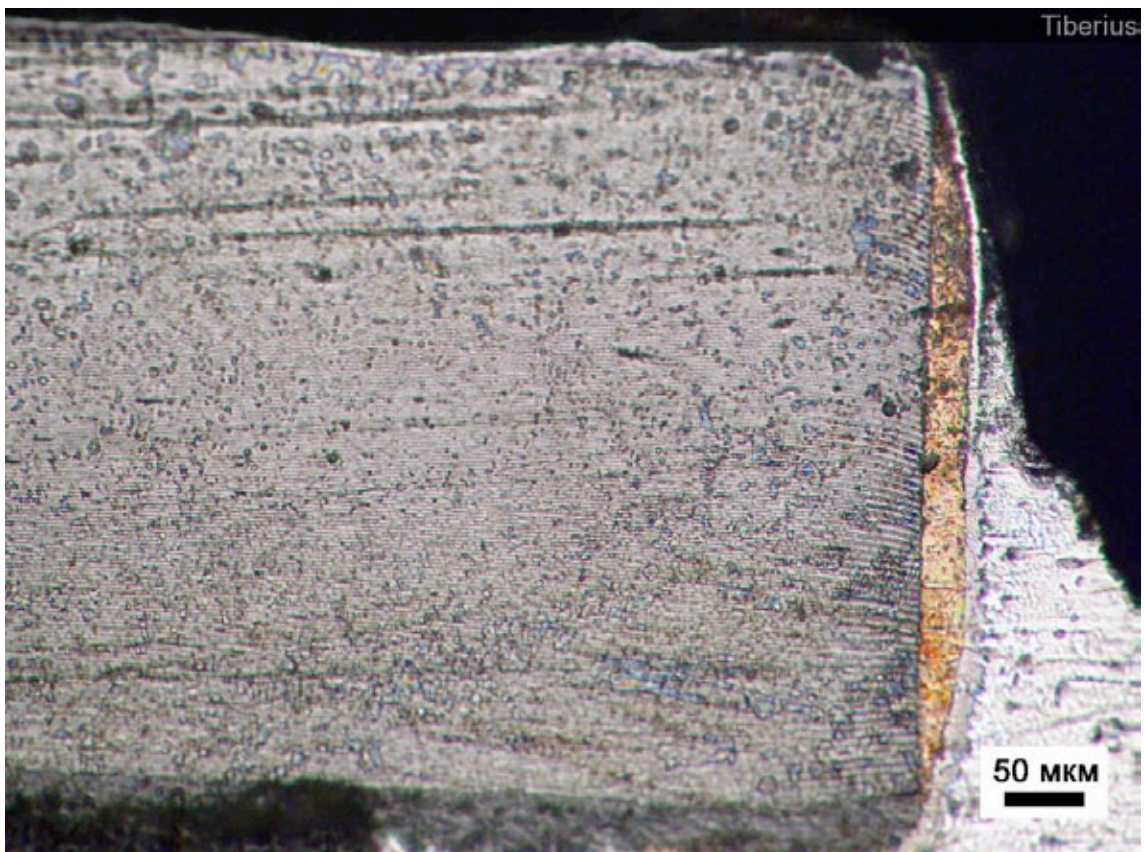


Элемент обвязки

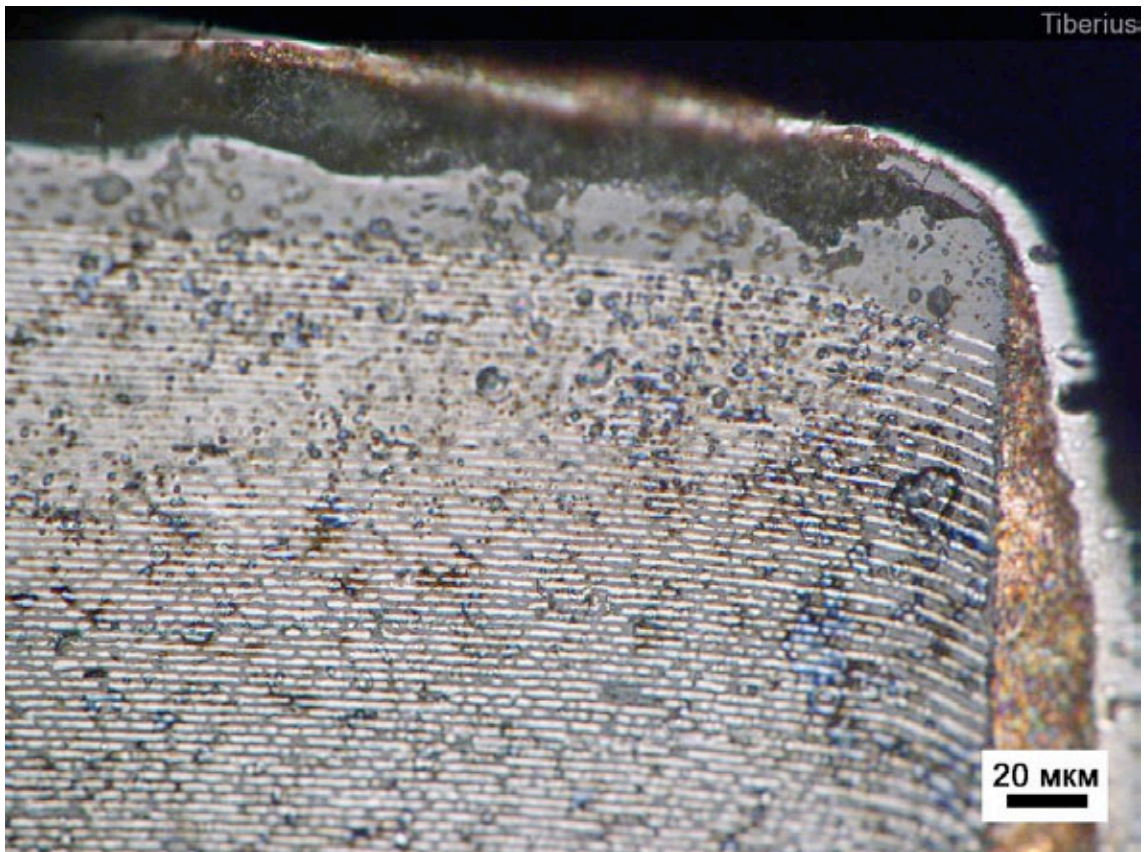
Микротом позволил аккуратно разрезать один из элементов обвязки, который, судя по всему, является либо SMD резистором, либо конденсатором. Но, честно говоря, я ожидал увидеть всё что угодно, только не полосатую структуру (т.е. данный элемент собран послойно из нескольких материалов, о чём свидетельствует разность контраста), поэтому если есть знающие люди, то Ваши комментарии очень помогут разобраться.



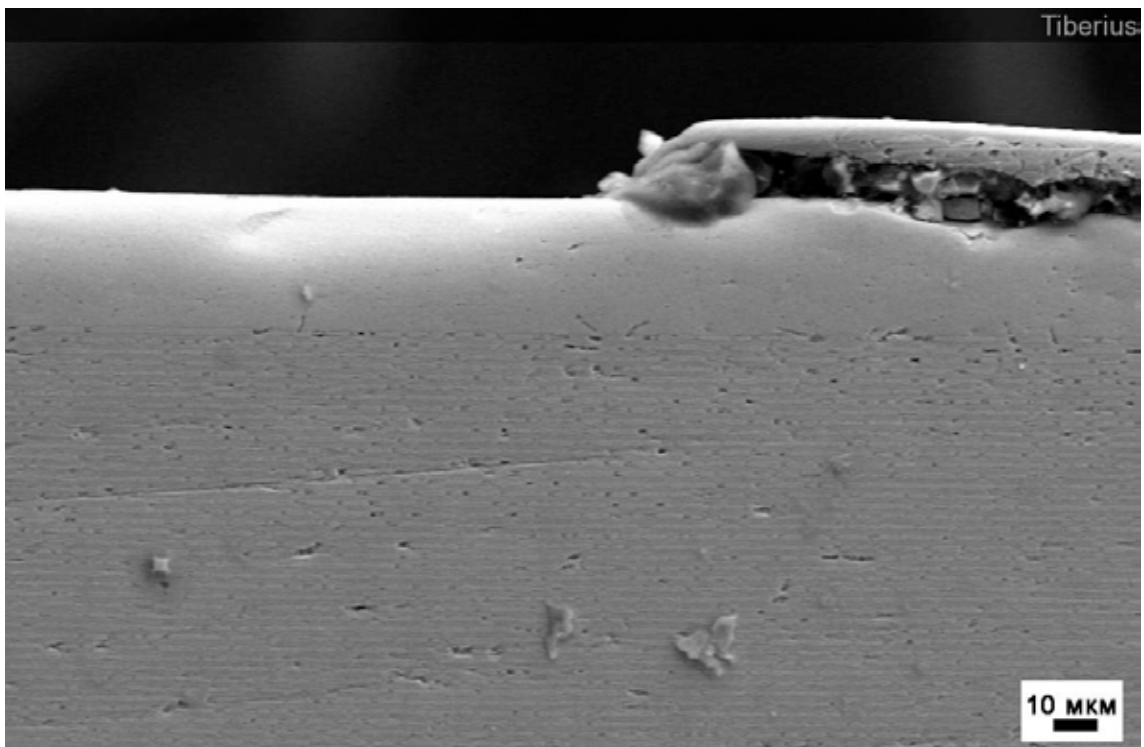
Оптическая фотография элемента обвязки видеочипа.



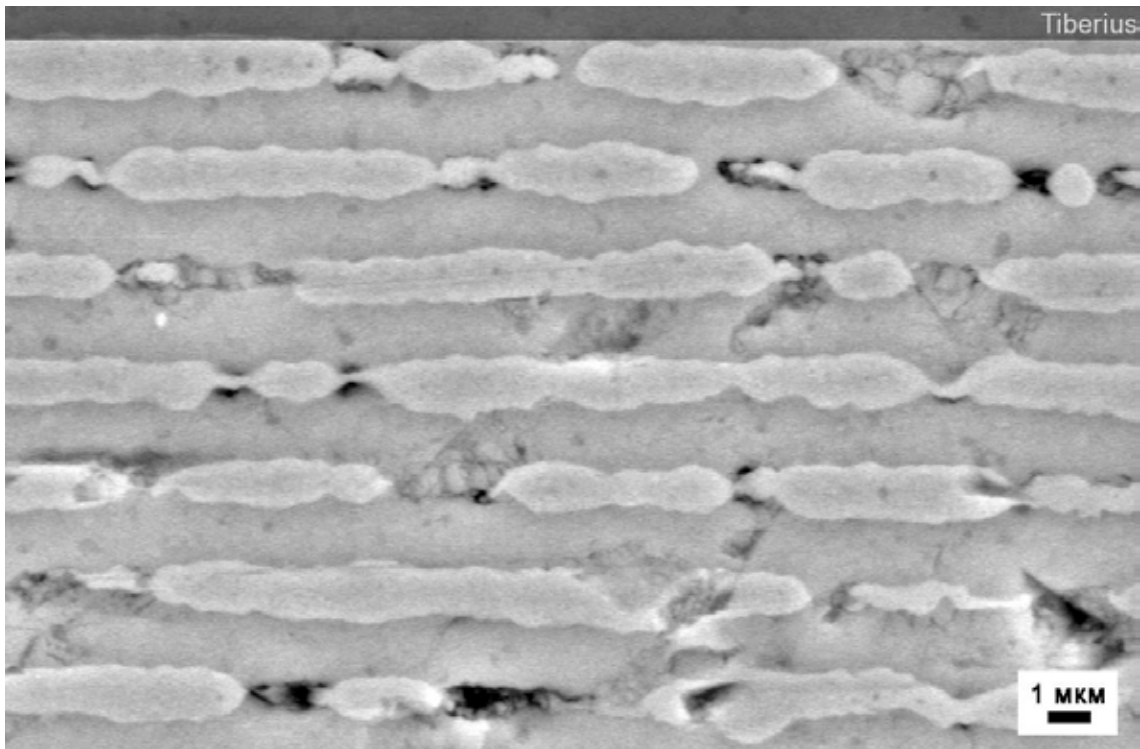
Оптическая фотография элемента обвязки видеочипа.



Оптическая фотография элемента обвязки видеочипа.



СЭМ-фотография элемента обвязки видеочипа.

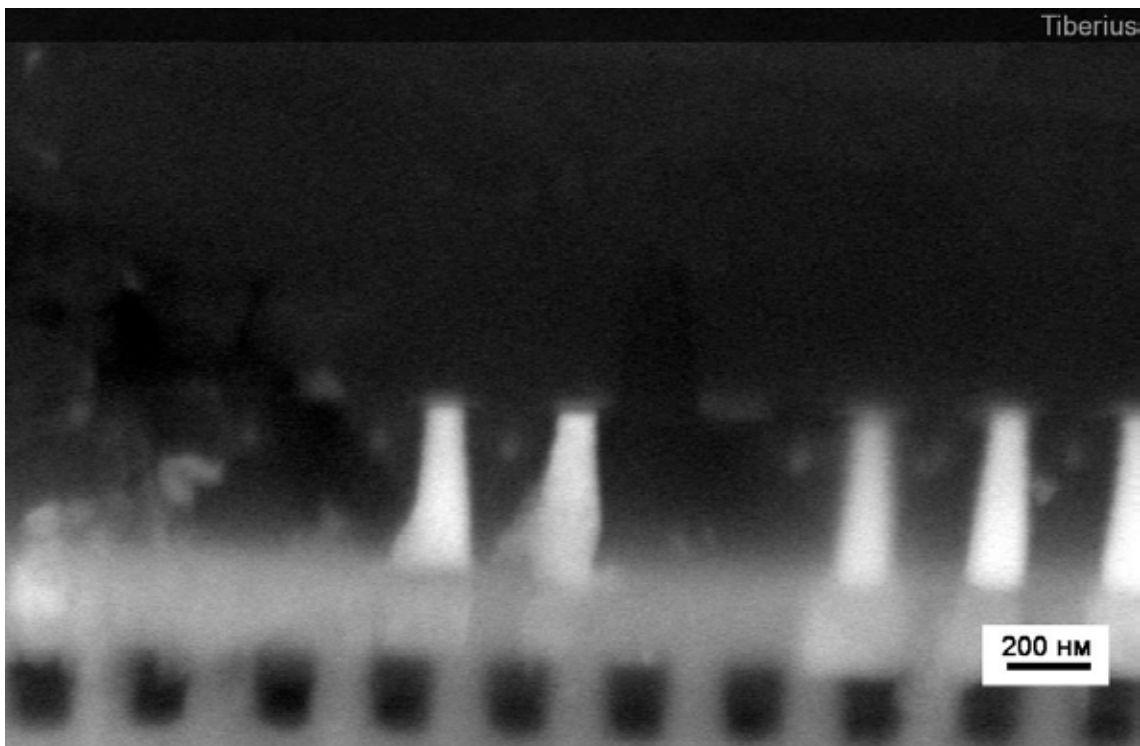


СЭМ-фотография элемента обвязки видеочипа.

Кристалл NVidia 8600GT собственной персоной

Итак, вроде все элементы чипа NVidia 8600 GT мы увидели, кроме самого главного – устройства самого камня, а точнее очень тонкого слоя на нём. О том, как кварцевый песок превращается в высокочистый монокристаллический кремний можно узнать из блога компании Intel или из следующего видео, опять-таки от канала Discovery (Видео на youtube).

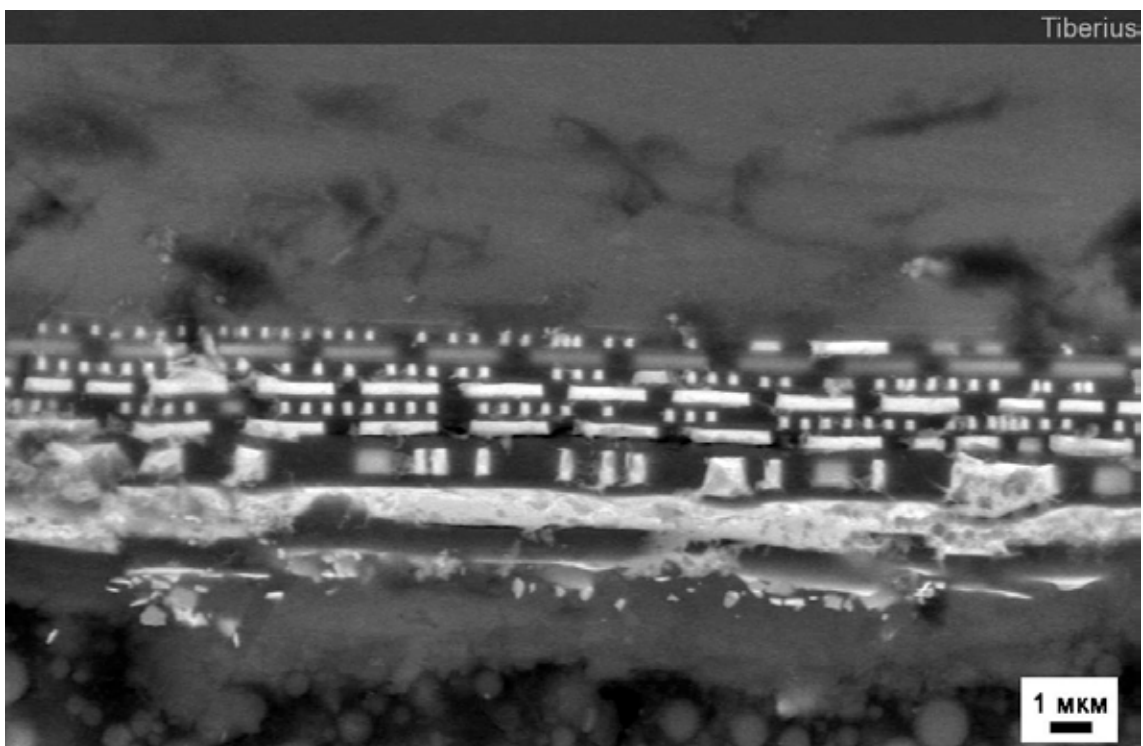
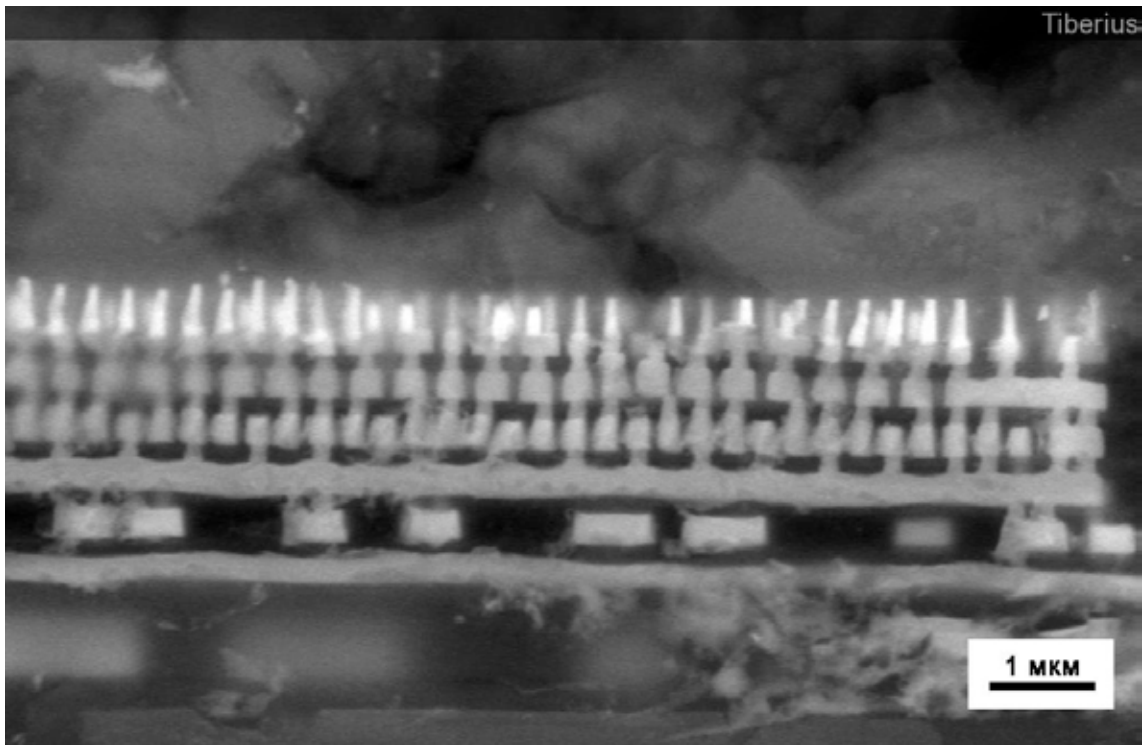
Чтобы гонять электроны по своим медным и полупроводниковым контактам пластины из кремния прошли множество стадий обработки, а я взял и всё испортил, препарировал бедный чип. Но не буду долго томить... Вот, ради чего я так долго мучился, и что хотел увидеть – отдельные элементы, выполненные по техпроцессу 90 нм:

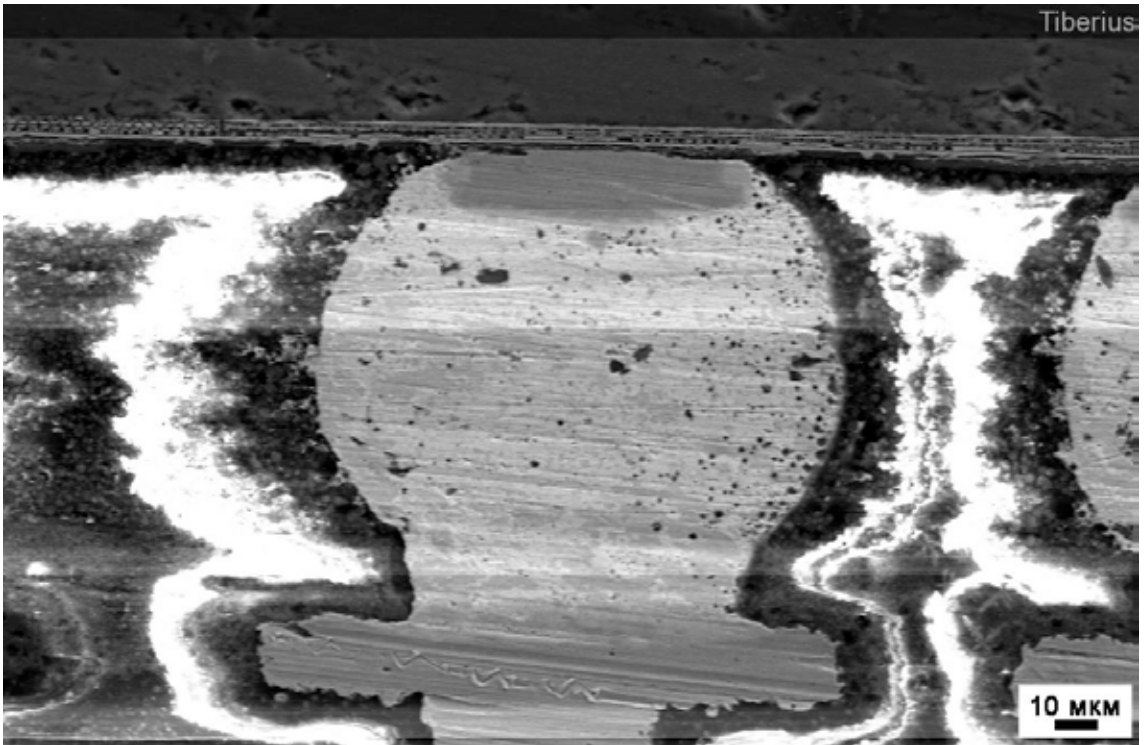
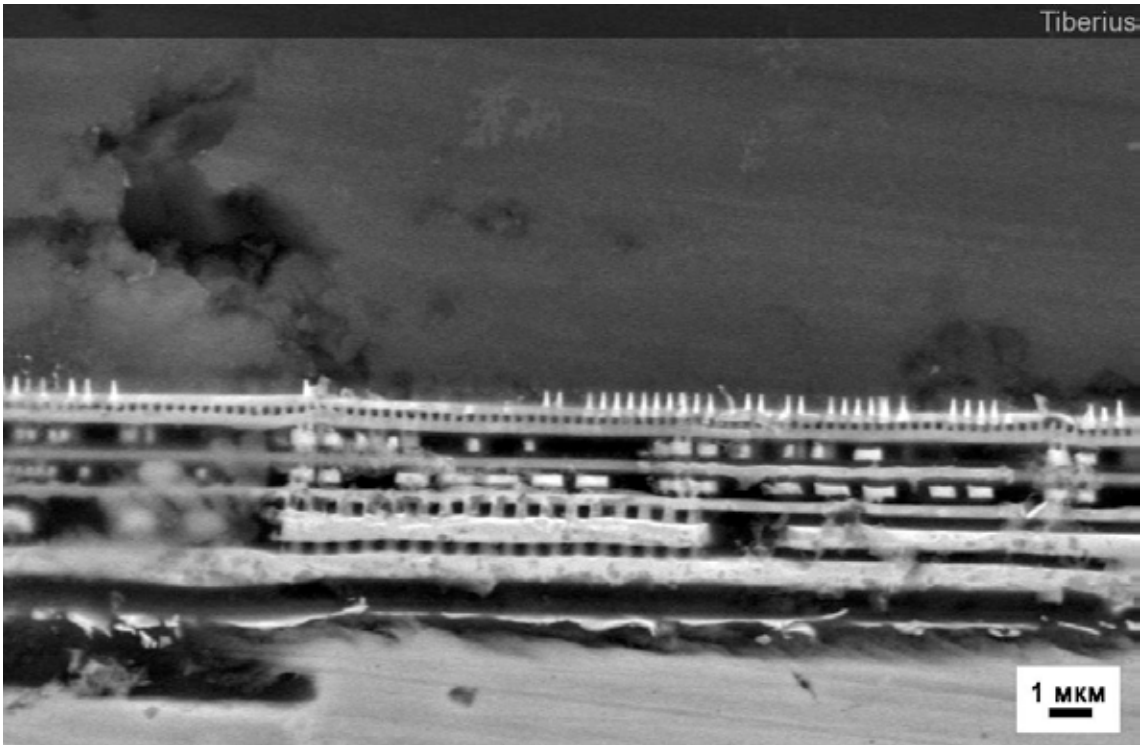


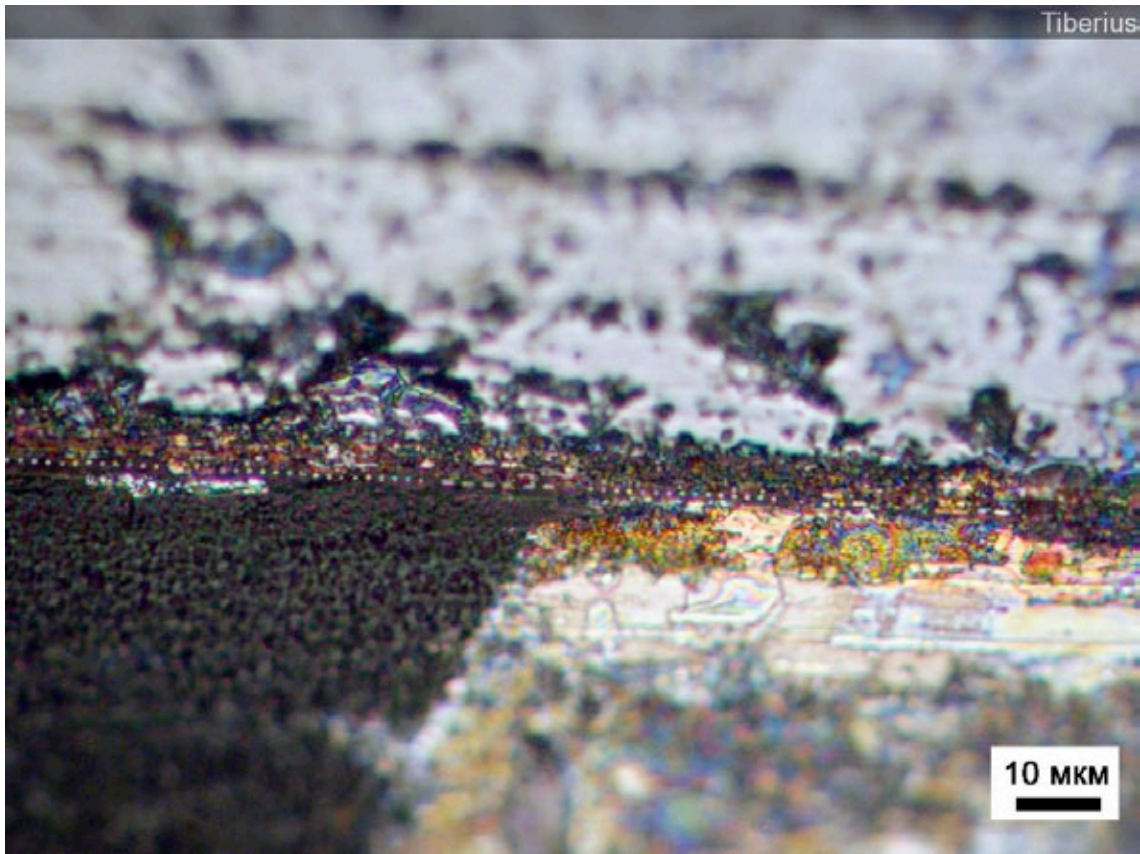
Отдельные элементы современной компьютерной техники.

Еле заметная разница в контрасте – это и есть те самые стоки/истоки, которые помогают нам с Вами работать за компьютером, играть в компьютерные игры, смотреть фильмы, слушать музыку и т.д. Размер структур составляет, по моим подсчётам, около 114 нм, учитывая ~10% в шкале и расчётах, а также особенности литографии, эта цифра очень хорошо согласуется с заявленным техпроцессом.

Далее будет ещё несколько фотографий видеочипа:







Заключение

Многое из увиденного внутри видеочипа меня поразило. Элемент обвязки – вообще, полосатый шедевр. И этим я с удовольствием поделился со школьниками на открытии олимпиады по нанотехнологиям, очный тур которой проводился в Москве в апреле месяце. На открытии мне довелось прочитать подготовленную лекцию.

Конечно, публикации от Intel, фото, найденные в Интернете с помощью корпорации добра, красивые картинки и анимация – отличная вещь, позволяющая быстро получить требуемую информацию и знание. Однако когда лично ты разрезаешь чип, изучаешь его, не отрываясь от экрана монитора часами, и видишь, что техпроцесс действительно 90 нм, что кто-то смог создать, просчитать всю эту конструкцию до мельчайших деталей, то в этот момент чувствуешь радость и гордость за человечество, которое создало такой совершенный продукт.

**ПОДБОРКА ИНТЕРВЬЮ
ВЕДУЩИХ УЧЕНЫХ
В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

Интервью академика В.В. Лунина.

"Проблемы подготовки кадров для химического образования и науки в России"

С. Шаракшанэ



Как известно, решением Генеральной Ассамблеи ООН нынешний год объявлен Международным годом химии, он пройдет под девизом: «Химия – наша жизнь, наше будущее». В феврале в Большом зале Президиума РАН прошла торжественная церемония открытия Года химии в России, где, в частности, с докладом выступил декан Химического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова академик В.В. Лунин. Редакция попросила Валерия Васильевича рассказать о подготовке кадров химиков – ученых, педагогов.

- Валерий Васильевич, что входит в программу Международного года химии в России и включает ли она элементы образовательных процессов?

- Химия – ключевая область современного естествознания, экономики, всей нашей жизни. В нашей стране Международный год химии это большая программа – юбилейные торжества и проведение важных мероприятий для

развития химического образования и науки в России. В самом деле, мы празднуем 300-летие со дня рождения первого химика России – М.В.Ломоносова. Как известно, открывая в 1748 году первую лабораторию в России, Михаил Васильевич сказал: «Изучение химии имеет двоякую цель: одна усовершенствование естественных наук. Другая – умножение жизненных благ». Отмечаем и 150 лет создания теории строения органических соединений академиком А.М.Бутлеровым – выдающимся представителем великой Казанской научной школы. 6 февраля исполнилось 150 лет со дня рождения основателя выдающейся школы химиков в Московском университете и в Академии наук академика Н.Д.Зелинского. В рамках Международного года химии будут проведены - олимпиада школьников России на родине М.В.Ломоносова - в Архангельске, Международная Менделеевская олимпиада в МГУ имени М.В.Ломоносова, конгресс в Казани, 19-й Международный Менделеевский съезд в Волгограде, творческие конкурсы, конференции учителей, работников библиотек и много других мероприятий. Вместе с тем, мы понимаем: достижение фундаментальных целей, сформулированных нашими великими предшественниками, создание новых материалов, лекарств, новых технологий, открытие новых реакций и явлений возможно лишь при хорошей подготовке кадров для химического образования и науки в нашей стране, и, если взять проблему шире - при глубоком естественно-математическом и гуманитарном образовании еще на этапе средней школы. Однако, в этой сфере, как известно, появились и проблемы, и тревожные тенденции.

- Скажите, а у нас, в России, количество исследователей–химиков - достаточное?

- Этот показатель является производным от общего числа исследователей в России в сопоставлении с другими странами. Профессор Анатолий Макаров привел («Поиск», 11.02.11) данные по семи странам мира - численность исследователей, занимающихся НИОКР в государственных и частных компаниях, а также общую численность исследователей. Проясняет картину и сопоставление общих расходов на НИОКР в 10 странах мира. Нужны ли дополнительные пояснения? Отмечу, однако, динамику: в Китае число исследователей в государственном секторе за десять лет увеличилось в три раза - с 450 тысяч в 1998 году до 1,5 миллиона в 2008 году. А в частных и частно-государственных компаниях – в четыре раза с 1 до 3,8 миллиона. Результат: если десять лет назад экономика Китая была восьмой, то сегодня - вторая экономика мира.

Когда видишь это соотносительное положение дел, то сокращение финансирования институтов РАН, РФФИ, РГНФ вызывает глубокую тревогу за реализацию провозглашенной программы модернизации страны.

Ускорение темпов подъема нашей экономики, модернизации предприятий, их инновационного развития определяется, в первую очередь, вниманием со стороны государства к науке, ученым, к уровню их жизни. Ну и, разумеется, качественным образованием на всех ступенях.

- Начиная со школы?

- ЕГЭ уже в большой степени разрушил системное предметное образование. Введение ЕГЭ привело к резкому падению уровня знаний у выпускников средней школы. По последним данным только 30% молодежи читают художественную литературу. Около 80% выпускников школы выбирают ЕГЭ по обществознанию, 20% - историю. Физику и химию выбирают лишь 12-15%. В тоже время, как отмечают все деканы химических факультетов, уровень знаний по химии, физике, математике у абитуриентов значительно снизился. В базисном учебном плане на изучение химии отводится два часа в неделю в 8-х и 9-х классах. В 10-х и 11-х классах химия преподается не во всех школах.

Как тут не вспомнить слова выдающегося российского ученого К. А. Тимирязева – основателя всемирно известной отечественной школы биохимии растений. В предисловии к английскому изданию своей книги «The Life of the Plant, London, 1912 г.» он писал: «...Я постоянно придерживался правила Армстронга, с которым вполне согласен: «Чему бы мы в нашей школе не учили, мы не должны забывать о химии: она наука о жизни, так как жизнь – ряд последовательных химических превращений; она, следовательно, основа физиологии». Химический факультет МГУ – единственный, где нужно представить четыре сертификата по ЕГЭ: по русскому языку, математике, физике и химии. В других классических университетах требуются два либо три сертификата ЕГЭ. И физика в их число не входит. После введения закона о ЕГЭ, химия и некоторые другие естественно-научные дисциплины стали необязательными предметами при зачислении в технические и технологические вузы. Преподавателям технических университетов приходится изыскивать особые методологические подходы, чтобы обеспечить приемлемый уровень химических знаний студентов к концу освоения ими курса химии в высшей школе.

- Но ЕГЭ в определенной степени дополняет система школьных олимпиад...

- Да, российские предметные олимпиады школьников – это достояние нашей страны, одна из лучших и новаций в образовании, существующая десятилетия. На встрече с победителями олимпиад школьников и обладателями президентских грантов 18 марта 2010 года Президент нашей страны Д.А. Медведев отметил: «...за последние пять лет российские школьники завоевали по математике 30 медалей, по астрономии - 28, по физике - 22, по химии - 20, по информатике – тоже 20, по биологии - 16».

Три года назад по инициативе вице-президента РАН, ректора МГУ, академика В. А. Садовниченко Российский союз ректоров и Минобрнауки РФ учредили перечень вузовских олимпиад. Вначале их было 120, в 2010 году – 80, в этом - 72. В них участвуют более половины выпускников, учащиеся 9-10 классов. В этот перечень включены 11 олимпиад по химии. Участие в них во многом определяется личностью учителя. Поэтому, убежден, при разработке новых стандартов, прежде всего, необходимо уделить внимание статусу учителя. Никогда еще в истории России статус учителя не опускался так низко, как в последние два десятилетия. Считаю, положение учителя в обществе требует внимания высших руководителей страны. Великая благодарность нашим коллегам-учителям, продолжающим «сеять разумное, доброе, вечное» на благо будущего нашей страны.

- Очень много разговоров сегодня про проект новых стандартов образования.

- Представленный на утверждение правительства проект стандарта среднего (полного) образования вызвал всеобщее возмущение педагогической, научной общественности, родителей. Стремление Минобрнауки РФ и разработчиков стандарта перейти на платное среднее образование приведет к печальным последствиям для нашего государства.

Основной разработчик этого стандарта генеральный директор издательства «Просвещение» А.М. Кондаков признает: «Реформы системы школьного образования России не дали ожидаемого эффекта. Поэтому впервые в нашей истории мы построили стандарты начального, основного и

среднего общего образования как общественный договор - ответ на запрос семьи, общества и государства. В основу стандарта был положен системно-деятельный подход, ориентированный на ребенка и позволяющий достичь не только предметного, но и личностного результата». Думаю, достаточно, чтобы этих авторов отстранить от работы над важнейшим документом, определяющим не один сегодняшний день их жизни в России, а будущее наших детей и внуков. В опубликованном варианте отмечены обязательные для всех предметы: физкультура, ОБЖ, «Россия в мире» и подготовка индивидуального проекта. Остальные предметы - по выбору учащегося. Авторы проекта, в частности, глава Рособнадзора Л.Глебова объясняют причину массового неприятия стандарта тем, что «его просто надо переводить с профессионального языка, чтобы было понятно, что там имеется в виду».

Такой язык перевести на русский невозможно. В основу стандарта должны обязательно входить: русский язык, русская литература. Именно великая русская литература воспитывает в наших душах патриотизм и любовь к отчизне. Никакой курс «Россия в мире» не сможет заменить роль русской литературы в формировании личности гражданина своей страны. Математика, физика, химия, биология вместе с русским языком и литературой формируют мировоззрение, представление о единой картине мира во всем его многообразии. Кстати, Международный год химии – еще и дань великой женщине, дважды лауреату Нобелевской премии Марии Склодовской-Кюри. Напомню ее определение прогресса в обществе: «Цивилизация страны измеряется тем, какой процент бюджета отведен на национальное образование».

- Давайте посмотрим следующую ступень – вузы.

- Всего химиков готовят в 64 субъектах Российской Федерации. С 1994 года Минобрнауки РФ последовательно проводит линию на реализацию в вузах России Болонской конвенции, соответственно, подготовка химиков ведется в нашей стране по трем направлениям. Наряду с подготовкой специалистов (5 лет обучения), стали вводить подготовку бакалавров (4 года обучения) и с 1998 года подготовку магистров (2 года обучения после получения диплома бакалавра). Вот как выглядит реализация в вузах системы двухуровневого образования. Подготовка бакалавров химии (направление подготовки 020100), магистров химии (направление 020100) и специалистов (специальность химия 020101) по программам классических университетов осуществляется в 80 университетах страны. Из них: 64 классических, 13 технологических и 3 педагогических.

Учебно-методический совет по химии Учебно-методического объединения классических университетов, стремясь сохранить лучшие традиции химического образования, активно работает над образовательными стандартами и программами для бакалавров, специалистов и магистров по направлениям.

За последние годы прием абитуриентов на первый курс в условиях демографического спада практически не изменился. В сентябре прошлого года в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана состоялась 2-я Всероссийская конференция «Химия в нехимическом вузе». Выражая тревогу за качество подготовки инженеров в нашей стране, конференция обратилась к УМО по химии классических университетов России с предложением о создании при УМО «Общественного Совета нехимических вузов по химии». Уверен, что уже в ближайшее время мы поддержим это обращение наших коллег из нехимических вузов. С 1 сентября 2011 года вузы России переходят на двухуровневое образование: бакалавр-магистр. Нормативные документы о правилах приема, распределении мест по численности Минобрнауки РФ обещает выпустить в июне. Приведу данные о распределении бакалавров по различным видам деятельности в Европейских странах и Объединенном королевстве Великобритании.

Можно видеть, что основная часть бакалавров стремится продолжить учебу. А как востребованы бакалавры в химических и родственных компаниях?

Из таблицы ясно видно, что очень ограничено. Работая над новым поколением стандартов, мы обратились к потенциальным работодателям: в Российский Союз химиков, Еврохим, Русал, Роснефть, представительства зарубежных компаний в России: BASF, Chevron, Dupon, Bayer и ряд других, и получили ответ – бакалавры нам не нужны. Всем нужны высококвалифицированные специалисты-химики.

За все время подготовки бакалавров, нам не известны случаи проведения Минобрнауки РФ

мониторинга результатов трудоустройства выпускников бакалавриатов. По данным опроса членов УМС по химии из выпуска 2006 года лишь 5% бакалавров приступили к трудовой деятельности. В письме министру образования и науки А.А.Фурсенко 27 марта 2009 года мы писали: «Учитывая состояние рынка жилья в стране и уровень материального обеспечения молодых специалистов, миграция специалистов с высшим образованием внутри страны в ближайшие годы маловероятна, и поэтому реализация двухуровневой системы (только бакалавр 4 года и магистр 2 года) с ограничением приема в магистратуру, по нашему мнению, со временем может привести к существенному снижению в стране объема научных исследований в области химии и других естественных наук и, вообще в целом, к уменьшению интеллектуального потенциала страны». Ответа, как обычно, мы не получили.

Учебно-методический совет по химии Учебно-методического объединения классических университетов неоднократно обращался к руководителям нашей страны, в Минобрнауки РФ с обоснованием необходимости сохранения, при переходе к Болонской системе, ступени специалиста-химика со сроком обучения 5 лет. При активной поддержке председателя Совета УМО академика В. А.Садовниченко УМС по химии удалось сохранить в рамках перехода на двухуровневое образование с 1 сентября 2011 года подготовку специалистов (пятилетнее образование). Однако Министерство образования и науки РФ до настоящего времени не опубликовало нормативные документы, регламентирующие действия вузов в этих условиях. Возникают два принципиальных вопроса. Первый: как будет планироваться министерством план приема на первый курс вузов – план по бакалаврам и отдельно план по специалистам или план будет общим, а ректораты и факультеты сами будут планировать соотношение бакалавров и специалистов?

Второй: будет ли обязательным зачисление 25 абитуриентов в одну группу (на чем настаивает министерство) и что будет, если вуз зачислит менее 50 абитуриентов (20-40 человек)? Почему эти вопросы принципиальны?

В 2010 году почти в половине университетов, готовящих химиков, зачислили на первый курс менее двух групп студентов полного состава и в том числе почти половину в составе менее одной группы (до 25 человек).

Исходя из задачи обеспечения кадрами высококвалифицированных химиков научных исследований в институтах РАН и научных центрах других государственных и негосударственных организациях, УМС по химии считает целесообразным по результатам зачисления абитуриентов на первый курс в 2011 году:

- разрешить вузам организацию двух студенческих групп неполного состава (одну для подготовки бакалавров и одну для подготовки специалистов);
- в случае приема до одной группы студентов разрешить части студентов по их заявлениям после окончания третьего курса завершать образование по программе специалистов по индивидуальным планам.

По состоянию на 15 октября 2010 года для организации приема в 2011 году имеют лицензии:

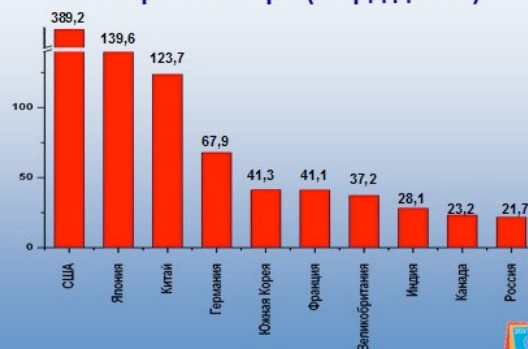
- на подготовку бакалавров - 77 % университетов;
- на подготовку магистров - 72% университетов;
- на подготовку специалистов - 91% университетов.

Как уже отмечалось, более половины университетов принимают на первый курс 20-25 человек. В этих университетах абсолютно необходимо сохранить подготовку специалистов-химиков. В любом другом варианте многие регионы страны могут остаться без кадров. Завершая, хочу напомнить слова Президента страны Д.А.Медведева: «Курс на модернизацию экономики и на создание современных технологий, их использование в нашей экономике стал одним из ключевых направлений развития нашего государства». Поэтому хочется верить, что Международный год химии привлечет внимание руководителей государства, химического сообщества, всего общества к науке химии, во многом определяющей научно-технический прогресс. Химия давно стала частью материальной культуры общества. Без химии нет современной инженерии, медицины, биологии, физики, фармакологии. Без химии нет жизни!

Численность исследователей



Общие расходы на НИОКР в 10 странах мира (млрд.долл.)



Прием абитуриентов на первый курс за последние годы (в условиях демографического спада) практически не изменился

Прием	2007 год	2010 год
На специальность «Химия» (специалисты) МГУ	2061	1664
На направление «Химия» (бакалавры)	557	910
Всего	2833	2809
На направление «Химия» (магистры)	153	480
Общий прием на подготовку Химиков-исследователей (специалисты + магистры)	2429	2379

Распределение бакалавров по различным видам деятельности после получения степени

Страна	Работа	Работа + учеба	Дальнейшая учеба
Германия	4,4%		95,0%
Дания	8,2%		91,8%
Франция	15,6%		74,4%
Италия	33,8%	11,1%	40,6%
Ирландия	46,0%		46,0%
Англия	46,0%	6,7%	34,5%

Категория выпускников	Количество вузов	
	2007	2010
Специалисты (в том числе только специалисты)	72	51
	52	20
Бакалавры (в том числе только бакалавры)	23	33
	2	5
Магистры	19	38
Всех трех категорий	19	17

Таблица. Реализация в вузах системы двухуровневого образования.

Интервью академика Б.Ф.Мясоедова. "Химия – наша жизнь, наше будущее"

С. Шаракшанэ



- Борис Федорович, откуда вообще появилась идея Международного года химии?

- С этой инициативой выступил Национальный комитет российских химиков, который возглавляет академик О.М.Нефедов - объявить 2011 год Международным годом химии. Инициатива затем обсуждалась в верхних эшелонах Международного союза по теоретической и прикладной химии (ИЮПАК), который ее поддержал. ИЮПАК, как известно, это высшая международная организация в области химии, которая объединяет химиков и людей, работающих в химической промышленности во всех странах мира, сейчас в ее состав входит порядка 60 стран. Отмечу, что одновременно аналогичное предложение поступило и от Эфиопии. Обобщая инициативы, ИЮПАК официально обратился в ЮНЕСКО. Нужно сказать, что российскую инициативу лично очень активно поддержал министр иностранных дел России

С.В.Лавров. В результате решением Генеральной Ассамблеи ООН 2011 год официально объявлен Международным годом химии. И совсем недавно - 27-28 января - в Париже, в здании ЮНЕСКО состоялось официальное Открытие Международного года химии.

- Вы – очевидец и участник события, расскажите, пожалуйста, что происходило в эти дни в штаб-квартире ЮНЕСКО в Париже?

- Это было очень большое собрание в прекрасном зале общих заседаний ЮНЕСКО. Напомню, ЮНЕСКО - одно из отделений Организации Объединенных наций, которое курирует вопросы культуры, науки и образования. Трудно сказать точно, но думаю, присутствовало порядка полутора тысяч гостей со всех стран мира и многих международных научных организаций, участие принимали также очень высокие лица, как от правительства Франции, так и от международных организаций. Открытие Года химии проходило под девизом «Химия – наша жизнь, наше будущее». Двухдневное заседание оказалось насыщенным и проходило с утра до вечера.

Сначала – приветствия, с ним выступили генеральный директор ЮНЕСКО Irina Bokova, затем Nicole Moreau - президент ИЮПАК, далее - министр образования и науки Франции Valerie Recresse, президент ИКСУ Catherine Brechignac. Поясню: ИКСУ - это международный совет, который координирует работы международной науки по отдельным направлениям (например, ИЮПАК – по химическим наукам). Выступил и целый ряд других ученых. Любопытно, что в основном выступали женщины - руководители ЮНЕСКО, и ИЮПАК, министр Франции, и другие, в том числе профессор H el ene Langevin-Joliot - внучка Марии Кюри, которая сейчас является руководителем одного из департаментов Национального центра научных исследований Франции (CNRS)

- Это – официальное открытие. А пленарные доклады?

- Их было около двадцати, среди докладчиков, в том числе лауреаты Нобелевской премии. Темы очень разные: роль химии в жизни современного общества, химия в решении острых проблем человечества, различные аспекты современной науки химии. Очень интересным был доклад лауреата Нобелевской премии Jean-Marie Lehn «От материала - к жизни», т. е. фактически о происхождении жизни. Ученый с мировым именем из Китайской Народной Республики профессор Zhigang Shuai рассказал об истории различных этапов развития химии. Был доклад о

наиболее крупных выдающихся ученых в истории химии. Интерес присутствующих вызвал доклад вице-президента нашей Академии академика Сергея Михайловича Алдошина. С привлечением большого числа фактических данных он рассказал о новых материалах, которые разрабатываются Академией наук совместно с другими российскими организациями для специальных целей, в том числе и для космических исследований. По окончании доклада Сергею Михайловичу было задано немало вопросов. Внучка Марии Кюри H l ne Langevin-Joliot посвятила свое выступление роли женщин в химии. Были там выступления, касающиеся роли химии в решении глобальных проблем, с которыми сталкивается человечество. Это и чистая вода, и полезные ископаемые, и здоровье человека, и освоение космоса. Естественно, рассматривалась ситуация с обеспечением человечества энергией. Здесь роль химии велика, потому что помимо природных источников энергии на основе углерода – нефти и газа – активно развивается биоэнергетика, которой, наряду с атомной энергетикой, по видимому, принадлежит будущее. В ближайшее время все заслушанные доклады станут общедоступными, поскольку появятся на сайте ИЮПАК.

- Насколько представительна, заметна была российская делегация?

- В ее состав входили пять действительных членов Академии наук: вице-президент РАН академик Сергей Михайлович Алдошин (возглавлял делегацию), академик Олег Матвеевич Нефедов, который длительное время был вице-президентом Российской академии наук, академик Юрий Александрович Золотов, председатель Научного совета РАН по аналитической химии, академик Валерий Васильевич Лунин, декан химического факультета МГУ, мне также посчастливилось принять участие в форуме. В состав делегации входила член-корреспондент Наталья Павловна Тарасова, которая является членом Исполнительного комитета международной организации ИЮПАК. Российскую делегацию отличало и то, что в нее были включены аспиранты и студенты – всего около десяти молодых людей из разных городов, разных учебных заведений. Словом, по мнению ответственных за проведение этой международной встречи Россия была представлена, пожалуй, лучше других стран.

- Итак, парижская встреча это доклады и заседания в течение двух дней так?

- Нет, не только. Одновременно проходила выставка, которая знакомила с Нобелевскими лауреатами в области химии за все время существования науки, с последними достижениями в разных областях. Наконец, непосредственным продолжением двухдневной международной сессии явилось специальное собрание, посвященное столетию со дня получения Марией Склодовской-Кюри второй Нобелевской премии. Известно, что первую Нобелевскую премию Мария Кюри получила совместно с Анри Беккерелем и с супругом Пьером Кюри за открытие явления радиоактивности. А затем, ровно сто лет тому назад, в 1911 году уже ей одной была присуждена вторая Нобелевская премия за открытие полония и радия. В истории науки это очень редкий случай,

Кстати, Мария Кюри во многих отношениях была первой женщиной. Она - первая женщина, получившая Нобелевскую премию, первая, кто получил две Нобелевских премии, первая женщина, получившая во Франции права на вождение автомобиля, она была первой женщиной-профессором в Сорбонне, которая организовала свою кафедру, а затем и Институт радия. В этом Институте, между прочим, во время первой мировой войны был создан специальный автомобиль для рентгеноскопии и эта работа Марии Кюри также получила широкое признание. Именно в честь 100-летия со дня присуждения второй Нобелевской премии Марии Кюри в Сорбонне прошло мемориальное собрание с участием очень авторитетных людей. Как известно, Мария Кюри была дочерью Польши - она родилась там, однако, выйдя замуж за Пьера Кюри, свою научную карьеру начала и проводила во Франции. Поэтому совместным решением правительств Франции и Польши нынешний год, наряду с тем, что это Год химии, для этих двух стран назван годом Марии Кюри. В этом формате предусмотрено проведение около двухсот мероприятий, посвященных специфической и самой молодой области химии – радиохимии, которая фактически определила лицо прошедшего XX века, когда появилась атомная энергия со всеми ее положительными и отрицательными моментами. И все это нашло отражение в

очень интересных сообщениях, которые наряду с приветствиями сделали министры образования Польши и Франции, президенты академий наук этих стран. Академик французской академии наук Robert Guillemot рассказал об истории открытия Марией Кюри радия и полония. В завершение были зачитаны приветствия президентов и Франции и Польши. Встреча была организована на очень высоком уровне и проходила в великолепном центральном зале Сорбонского университета, несущем черты всей его истории. Закрытие года Марии Кюри состоится осенью этого года в Польше.

- Что более всего произвело впечатление лично на вас?

- На меня как радиохимика большое впечатление произвела новая постановка вопроса об уране, который является источником получения атомной энергии за счет деления природного урана, обогащенного ураном 235. Известно, что это очень рассеянный металл, его запасы ограничены и поэтому сейчас ученые начинают думать о будущем. И здесь в Париже в первые в докладе представителя французского комиссариата по атомной энергии прозвучала мысль о том, что уран, как рассеянный элемент, концентрируется в том числе в фосфатных минералах, из которых получают фосфатные удобрения. Фосфатные удобрения широко используются в сельском хозяйстве и уран можно выделять при их производстве. Такая постановка проблемы может решить сразу две задачи: с одной стороны, можно дополнительно извлекать уран, увеличивая доступные для человека его запасы, а, с другой стороны, на этом пути можно обезвредить наши поля от продуктов его распада.

Говоря об атомной энергетике, надо подчеркнуть, что она сейчас составляет существенное дополнение к мировому производству электроэнергии обычными станциями, а будущее, по моему мнению, вообще принадлежит атомной энергетике. Атомная энергетика во всем мире сейчас переживает ренессанс, достаточно сказать, что в России доля энергии, производимой атомными станциями, сейчас составляет 16%, но уже поставлена задача к 2020 году увеличить эту долю до 20%, а к 30-му году до 30%. Начали строиться многие новые атомные станции на основе унифицированного, абсолютно безопасного проекта, который прошел, в том числе, и международную экспертизу. В ближайшие годы будет построено порядка 20 новых блоков на действующих атомных электростанциях, а это больше, чем было построено за все годы в Советском Союзе. Словом, забота химиков о новых путях обеспечения топливом атомной энергетике произвела на меня большое впечатление.

Второе, что мне понравилось – активизируется изучение возможностей биоэнергетики, биотоплива. В некоторых странах биотопливо уже сегодня составляет десятки процентов от общего потребления.

Возможности химии в решении современных мировых проблем понимают и представители развивающихся и бедных стран, в том числе стран Африки. Представители этих стран приняли активное участие в работе этого международного форума.

Собрание было прекрасно организовано, по завершению был дан небольшой, но во всех отношениях замечательный концерт под тем девизом, что химия, культура и музыка - очень близкие сферы. Действительно, в истории мы знаем многих химиков, которые были великолепными музыкантами и композиторами, например, наш соотечественник Александр Порфирьевич Бородин. Концерт как раз и состоял из произведений, написанных химиками, которые были одновременно и известными деятелями культуры. Итоговый прием был дан в прекрасном мраморном зале министерства иностранных дел Франции, блистающем всеми прелестями французской культуры, чем подчеркивалось значение Открытия Международного года химии.

- Открытие Международного года химии означает старт и Года химии в России – это так?

- Да, 15 февраля - открытие Года химии в России - собрание прошло в Большом зале Российской академии наук, были очень интересные сообщения ведущих ученых страны о роли и значении химии в различных областях. В целом, в программе Года химии в России предусмотрен обширный ряд мероприятий, крупнейшим из которых является Менделеевский съезд, который будет проходить в Волгограде. Вообще, так называемые «Менделеевские конференции» - это самые большие международные конференции, они проходят регулярно - с интервалом в два, три года (правда, иногда с большим перерывом), для пленарных докладов на них приглашаются Нобелевские лауреаты, там обсуждаются самые современные достижения и проблемы в развитии химической науки.

Кстати, одно интересное мероприятие Года химии уже прошло. Незадолго до нашего отъезда в Париж в ряде научных организаций, в том числе в Российской академии наук на базе Черноголовки, в Московском государственном университете, в Российском химико-технологическом университете имени Д. И. Менделеева были проведены «чаепития», посвященные вкладу женщин в развитие химической науки и приуроченные столетию присуждения Нобелевской премии по химии Марии Склодовской-Кюри. С помощью телемоста женщины-химики связались со своими коллегами в Великобритании, Эстонии, Германии, СНГ и смогли вместе встретить Международный год химии за праздничным столом. В рамках Года химии запланировано много мероприятий для молодежи, будут проведены конкурсы для студентов. Кстати, в Академии наук, как вы знаете, есть специальная программа, посвященная молодежи. В конкурсах может принимать участие молодежь не только из академических институтов, но и из других научных организаций нашей страны, они также могут получать крупные гранты, премии за лучшие работы. Подведение итогов конкурсов приурочено к закрытию Года химии в России. Ну а кульминационным пунктом программы Года (хотя окончательное решение по этому вопросу еще не принято) с танет Научная сессия Общего собрания Академии наук, которая традиционно проходит в конце года и посвящена будет, как мы сейчас предполагаем, наиболее интересным крупным достижениям отечественной химии.

- Хотя у отечественной химии есть не только достижения...

- В советское время химия была одной из лучших областей народного хозяйства. К сожалению, химия, как и вся страна, после известных событий в 90-е годы оказалась в тяжелом положении, и до сих пор у нас нет программы развития химии и химической промышленности. Надеемся, что у руководства страны в скором времени до этого, как говорится, «дойдут руки». Вместе с тем, в отечественной химии и сегодня есть много достижений, а по целому ряду направлений мы занимаем очень хорошие, даже передовые позиции - не зря к нам ездят и иностранные ученые, и промышленники. Это касается, например, переработки облученного топлива в ядерной энергетике, что, как известно, делается только с помощью химии - тут у нас имеются общепризнанные достижения. Интересны российские разработки в области лекарств. К сожалению, порой очень хорошие собственные исследования не находят поддержки в стране, хотя ими тут же интересуются американские фирмы, специализирующиеся на лекарствах. Вот конкретный пример: американцы выделением крупной суммы поддержали исследования академика Н.С.Зефирова (Черноголовка) по поводу лечения болезни Альцгеймера для того, чтобы эти исследования были доведены до промышленного выпуска этого важного препарата. Менделеев, как мы помним, говорил, что преступление - жечь нефть, это все равно, что жечь ассигнации, нефть нужно перерабатывать. И у нас сегодня есть современные методы ее переработки, есть методы извлечения нефти из сланцев, где нефти гораздо больше - но, к сожалению, все это пока не востребовано. Интересуются лишь некоторые фирмы. Вы зададите вопрос - почему? Потому что у нас еще слишком короткая история рынка. Всякий, кто инвестирует деньги, думает только о том - как быстрее и с большим выигрышем их вернуть. Поэтому сейчас еще очень мало людей, которые понимают: чтобы наладить дело, которое бы постоянно и надолго давало все новую и новую прибыль, нужно деньги вкладывать, прежде всего, во внедрение научных достижений, в инновации, без этого не может быть жизни! Фундаментальная наука - первая и необходимая стадия любых инноваций. Именно на основе открытий при их дальнейшем развитии должно строиться будущее страны - и к этому призывает нас наше правительство. Суммируя, скажу: если в стране будет необходимая поддержка, внимание

к химии, мы еще сможем вернуться к тому высокому уровню, какой традиционно был у отечественной науки, начиная с Менделеева.

И еще: меня поразила недавняя сюжет по ТВ-новостям про то, что во главу угла в определении стандартов образования надо ставить физкультуру, здоровье человека – и то, что в ответ сказал Владимир Владимирович Путин. Это, конечно, правильно, человек должен быть здоровым. Но мы говорим о развитии инновационного общества! Страна, не опирающаяся на новые технологии, не имеет перспектив существования в современном мире. А для того, чтобы идти по инновационному пути, необходимо образование, которое, кстати, в советское время было лучшим, и это сейчас признают, к нам тогда ездили учиться. А мы сейчас пытаемся сделать что-то другое. Учить школьников без современной науки, без современных знаний - просто невозможно! И как вообще иначе может ставиться такой вопрос!

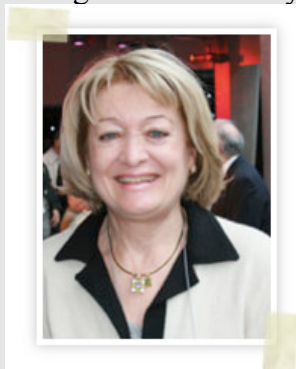
- Какой замысел вкладывается в эту акцию - Международный год химии?

- К сожалению, не все понимают роль химии. И замысел организации Международного года химии как раз в том, чтобы разъяснить общественности значение химии – в чем-то отрицательное, но в гораздо большей степени положительное. Конечно, порой, в крупных химических комбинатах не соблюдается техника безопасности: случаются выбросы, вредные вещества попадают и в воздух, и в подземные воды, но, все-таки, то положительное, что делается химией, несопоставимо больше. Химия нас одевает, продукты питания выращиваются в природных условиях, но химия используется, чтобы сохранить и повысить урожай. Лекарства - также научные разработки химии. Химия – необходимый участник при производстве электроэнергии, особенно в наше время. Сегодня наступает эра биоэнергетики, т. е. будут задействованы отбросы сельского хозяйства, отбросы переработки лесодревесины. Химия может организовать работу бактерий, которые усваивают двуокись углерода (решая одновременно проблему удаления двуоксида углерода из воздуха) и дают те биоматериалы, из которых можно делать топливо для машин. Ну и космос тоже без химии невозможен. К сожалению, с моей точки зрения, именно ученые в значительной мере виновны в том, что не в таком необходимом объеме, как нужно, разъясняется общественности роль и значение химии. Проведение Международного года химии в большой степени восполнит этот пробел.

Даже если частично смысл того девиза, который красовался во время работы трехдневных заседаний в Париже – «Химия – наша жизнь, наше будущее», дойдет до сознания возможно большего числа граждан нашей страны, это будет главным итогом и лучшим результатом Международного года химии.



профессор Helene Langevin-Joliot - внучка Марии Кюри



Nicole Moreau - президент ИЮПАК



генеральный директор ЮНЕСКО Irina Bokova

Интервью академика А.Коновалова.

«Любовь - это химия, а химия - это музыка»

Л. Бусиль



Профессор Казанского университета, академик Александр КОНОВАЛОВ недавно прочел лекцию на телеканале «Культура», посвященную супрамолекулярным системам.

- В своем выступлении в телепроекте «Академия» вы сказали, что биосистема (а значит, и человек) с точки зрения химии - это прежде всего «сообщество структурно и функционально дифференцированных супрамолекулярных систем». Позвольте задать «глупый» вопрос: что же такое душа человека?

- Цель моей лекции была показать роль супрамолекулярных систем. Супрамолекулярные системы - это высшая точка предбиологического развития. Дальше все нужно связывать с появлением разума.

- Человечество благодарно химикам за массу жизненно необходимых вещей, в первую очередь за лекарства...

- А материалы? Разве можно представить нашу жизнь без материалов? Посмотрите вокруг себя и вы увидите - все это химия...

- Однако слово «химия» в быту часто употребляется с негативным оттенком. Мы едим «химические» продукты, используем бытовую химию, природа наша страдает из-за выброса вредных химических веществ. Как разрешить этот извечный спор между химиками и экологами?

- Не нужно отрицательные эффекты приписывать только химикам. Общество в целом должно откликаться на то, что химики могут создать, и ставить перед ними и другие задачи. К сожалению, зачастую общество не видит возможных отрицательных последствий. А видеть их - это очень важный момент в деятельности человечества.

- Возможно, просто экономически невыгодно производить такие материалы?

- Правильно, если думать о сиюминутной выгоде. Но надо думать и о будущих последствиях! Сейчас с каждым годом растет потребность человечества в энергии. И приблизительно каждые 27,5 года происходит удвоение производства энергии. Сегодня мы говорим о парниковом эффекте. Но ведь дело не только в нем. Конечно, прогресса не будет, если не будет увеличения производства и потребления энергии. Одна из задач - производить и использовать так называемую чистую энергию: солнечную, ветра, воды. Но в конечном итоге превращать-то мы ее будем опять в тепло! А Землю перегревать нельзя, это может привести к катастрофе. Если человечество не поймет этого (последствия должны осознать и ученые, и политики) и не найдет выход. Я много думал на эту тему. Один из возможных выходов - выносить производства в космическое пространство.

- Предлагаете строить заводы на Луне?

- А почему нет? Это необходимость. Совершенно очевидно увеличение антропогенного вклада в непрерывное повышение температуры атмосферы Земли. Я знаю другие точки зрения, но от антропогенного фактора никуда не уйдешь, он будет только возрастать. Господство пустынь на

нашей планете - естественная перспектива ее развития, если человечество своевременно не осознает приближение катастрофы.

Даже небольшое повышение среднегодовой температуры приведет к тому, что резко изменится климат и состояние атмосферы. Усилятся ветры, ураганы, бури, смерчи. Некоторые ученые считают, что мы в кризис уже вошли. И в этих условиях развитие химии - необходимое в настоящее время явление.

- Казанские ученые в области супрамолекулярной химии являются лидерами в России. Поэтому вполне понятно, почему вы координатор соответствующей программы в Российской академии наук. К чему ведет создание супрамолекулярных систем?

- К появлению исследований нового уровня и смыканию химических систем с биологическими. В настоящее время в мире появилась наука, которая называется «синтетическая биология». Те, кто занимается супрамолекулярной химией, понимают, что создание систем, которые смогут конкурировать с биологическими, - это вызов человечеству.

- Речь идет о так называемых биороботах, биосенсорах, биомаркерах?

- В том числе о них. Закономерности, которые работают в биосистемах, имеют физическую или химическую природу, поэтому исследования в этой области чрезвычайно важны. И не только с точки зрения создания систем, моделирующих биологические объекты, но и с точки зрения создания синтетических систем, которые были бы эквивалентны биологическим и даже превосходили бы их. К чему это приведет? Сказать трудно, как всегда, будет и положительное, и отрицательное.

- Ваша внучка Оля продолжила династию химиков и стала недавно победительницей международного конкурса работ молодых ученых в области нанотехнологий. Вы с детства прививали ей любовь к химии или во всем «гены виноваты»?

- Должен признаться, ее победа стала для меня приятной неожиданностью. Оля занимается системами, которые могут быть использованы для создания биомаркеров и биосенсоров. Окончательный выбор в пользу химии внучка сделала только в выпускном классе, как и я.

- Александр Иванович, а как вы стали химиком?

- Моя мама работала у Александра Ерминингельдовича Арбузова лаборантом, и в детстве мне часто приходилось бывать в химических лабораториях в здании, где теперь располагается Музей истории казанской химической школы. А университетский детский сад, в который я ходил, размещался в подвале главного здания. В старших классах я заинтересовался химией. Тем не менее химиком решил стать не сразу. Хотел быть то нефтяником, то математиком... Но в конце концов химия победила. Очевидно, сказалось влияние арбузовской школы.

- Вам довелось общаться с Арбузовым-старшим?

- Когда я был студентом, а затем сотрудником, Александр Ерминингельдович был еще жив. Но разговоры с ним были мимолетными. А что касается Бориса Александровича Арбузова, то он нам читал лекции по органической химии. Когда я окончил университет, Борис Александрович стал научным руководителем моей кандидатской диссертации. И в русле одного из направлений исследований Арбузова-младшего развивалась моя работа, которая потом переросла в докторскую.

- Желаящих поступить в химический институт КФУ хоть отбавляй, но так было не всегда. Почему молодежь сегодня охотно идет в химики? Это связано с тем, что химия - одна из самых быстроразвивающихся наук, или тому есть другие причины?

- Тут надо учитывать совокупность нескольких факторов. Во-первых, действительно, химия развивается быстро. Это та наука, которая сама создает предмет своего исследования. Во-вторых, казанская химическая школа существует уже 175 лет. Точка отсчета для нас - Зинин. Далее основные «вехи» - Бутлеров, Марковников, Зайцев, Арбузов-старший, Арбузов-младший, Пудовик... Кстати, в 2011 году исполняется 150 лет бутлеровской теории химического строения органических соединений. В рамках Года химии этому событию будет посвящен международный конгресс, который состоится в Казани.

- Вы известный академик, в 1980-е годы были ректором Казанского университета. По-вашему мнению, реформа высшего образования, перевод его на болонские рельсы - это дорога в так называемое светлое будущее или тупиковый путь развития?

- В российском научно-образовательном сообществе отношение к внедряемой системе образования скорее отрицательное, чем положительное. Идея унификации образования, которая провозглашена в Болонской декларации, в идеале должна позволить студентам более активно выезжать за рубеж, что, конечно, очень важно с точки зрения реализации перетока идей, а отсюда и более эффективной подготовки квалифицированных специалистов. Но в настоящее время и у нас, и за рубежом все чаще раздаются критические голоса в адрес болонской системы.

- Вы считаете, что советская система образования была лучше?

- Разрушение системы образования в нашей стране происходит достаточно давно, это не сиюминутное явление. И идет оно - я придерживаюсь такой точки зрения - не без влияния извне.

- По-вашему уровень студентов в последнее время снизился?

- Конечно снизился. И это единое мнение всех тех, кто на протяжении многих лет причастен к учебному процессу.

- Как можно исправить ситуацию?

- Требуется очень большая системная конструктивная работа, которая затрагивала бы все элементы образовательной системы: и структуру образования, и методы обучения, и программы, и (колоссальной важности вопрос) качество кадров. И все надо начинать со школы. Страна утратила ту культурно-образовательную среду, которая была присуща нашему обществу.

- Александр Иванович, на этой неделе студенты отметили День святого Валентина. Одни говорят, что любовь - это сплошная химия, другие - болезнь. А по-вашему, любовь - что это такое?

- Мы не знаем до конца все ее механизмы. Но известно, что в определенный момент начинается синтез некоторых биологических веществ, которые определяют и поведение человека, и его чувства. С этой точки зрения любовь - это химия. А химия - я цитирую - «это музыка».

Александр Иванович Коновалов родился в 1934 г. Доктор химических наук, профессор, академик РАН (1992), академик (1991) и вице-президент АН РТ (1997 - 2006). Декан химфака КГУ (1968 - 1972), за кафедрой органической химии КГУ (1974 - 1999), ректор КГУ (1979 - 1990), директор ИОФХ КазНЦ РАН (1990 - 2001), председатель КазНЦ РАН (1996 - 2008), советник РАН (2008). А.И.Коновалов является: вице-президентом Российского химического общества им. Д.И.Менделеева, председателем научного совета РАН по органической химии, членом редколлегий научных журналов «Вестник РАН», «Доклады РАН», «Успехи химии», «Известия АН. Серия химическая», «Журнал общей химии», «Журнал органической химии». Кроме того, академик Коновалов - председатель диссертационного совета по защите диссертаций на соискание ученых степеней доктора химических наук при КФУ, председатель комиссии по присуждению золотой медали имени А.М.Бутлерова РАН, член совета федеральной программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки».

А.И.Коновалов - лауреат Госпремии СССР и Госпремии РТ в области науки и техники, премии «Триумф» 2005 года в области науки в номинации «Химия и науки о материалах», премии РАН им. Н.Д.Зелинского, а также обладатель золотой медали им. Д.И.Менделеева

Интервью академика В.Анциферова. Молодежь - основной питающий элемент науки

Молодежь - основной питающий элемент науки. Так считает **Владимир Анциферов**, академик РАН, научный руководитель Научного центра порошкового материаловедения **Пермского государственного технического университета**.

8 февраля отмечался День российской науки. Именно в этот день (28 января по старому стилю) в 1724 году по указу Петра I была основана Академия наук России. Своими мыслями о том, как сегодня связаны наука, высшее образование и производство, поделился Владимир Никитович Анциферов, академик РАН, научный руководитель Научного центра порошкового материаловедения (НЦ ПМ) ПГТУ.

- Что сегодня представляют собой Научный центр порошкового материаловедения и одноименная кафедра?

- Кафедра порошкового материаловедения и НЦ ПМ образуют учебно-научный комплекс, объединенный территориально. Основной задачей кафедры является подготовка специалистов широкого профиля в области материаловедения, технологий порошковой металлургии и напыленных покрытий, информационных технологий, знаний в области экономики, менеджмента и права. Мы обучаем студентов по двум специальностям: «Композиционные и порошковые материалы, покрытия» (ей уже почти полвека) и «Наноматериалы» (она открыта 3 года назад). Центр является ведущей в России организацией в области порошкового материаловедения, выполняющей фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям развития науки и техники.

- В конце января Пермь посетила делегация шведской компании European Nano Invest AB, специализирующейся на венчурных инвестициях в области нанотехнологии. Побывала она и в вашем Центре. Какова цель этого визита?

- Гости, так сказать, прощупали почву для участия во внедрении наших научных разработок. Швеция - страна, где широко представлено производство в области порошковой металлургии и композиционных материалов. У них есть заводы, которые производят высококачественный порошок и изделия. Наряду со шведами в Перми побывали и представители немецкого венчурного фонда, который хотел бы участвовать в финансировании определенных научно-исследовательских программ России и Пермского края. Конечно, их интересовали в первую очередь инновационные проекты. Что такое инновация? Это что-то новое для того или иного объекта. Может, для США та или иная разработка новой и не является, а для России или Африки - это инновация. Несмотря на это, многие разработки, которые сделаны в нашей стране, внедряются за границей.

Сегодня в Пермском крае есть крупные предприятия, использующие наши исследования. К примеру, ЗАО «Новомет-Пермь», ОАО «Нытва». «Новомет», где работает много наших выпускников, производит оборудование для нефтяников и газовиков. И в этом оборудовании есть изделия, которые в свое время родились в нашем Центре. Эти предприятия - молодцы: они выпускают не одно изделие, а оборудование в комплексе. Это более рентабельно. Ведь вы не покупаете ручку от ножа. Вам нужен нож в целом. Поэтому я считаю, что наука, инновации и внедрение их в производство должны быть звеньями одной цепи.

- ПГТУ получил статус национального исследовательского университета. Что это изменило для Центра и кафедры в плане науки?

- Это большая честь и дополнительные обязательства. Мы должны поднимать уровень образования. Студентов надо обучать, используя последние достижения в области

информационных технологий. Кроме того, мы больше привлекаем студентов к научной работе. Если раньше ей занимались в основном магистры, то теперь мы задействуем и бакалавров - начиная с третьего курса. Но систему многоуровневого образования надо совершенствовать. За границей бакалавр может после получения диплома пойти работать, а поступить в магистратуру через несколько лет - причем, в любом вузе. Только когда поймет, чем он действительно хочет заниматься. У нас эта цепочка пока не отработана.

Сейчас вышло постановление правительства РФ о четырехлетней аспирантуре. Вот это правильно. Три года - это мало для написания полноценной кандидатской диссертации. Хотя есть случаи, когда диссертацию защищали и после двух лет обучения в аспирантуре. Но это, как правило, под силу только очень одаренным и преданным науке людям. У меня был аспирант, который в очень короткие сроки написал диссертацию. Она была неправильно оформлена и занимала всего 30-40 страниц. Но я выдал резолюцию: «Достоин кандидатской диссертации». Потому что это была очень талантливая работа. С другой стороны, у меня был магистр, который приехал из-за границы. Так, по сравнению с нашим магистром, он был недостаточно подготовлен.

- Владимир Никитович, что бы вы хотели пожелать в День российской науки все вашим коллегам, студентам, аспирантам?

- Хочется пожелать всем ученым процветания, чтобы наука получала достойное финансирование. Поскольку без науки дальнейшее развитие человечества невозможно. Я как-то видел передачу, посвященную этой теме, и там прозвучал такой вопрос: «А что наука дала мне лично?». Чиновник, которому был адресован вопрос, замялся и ответил очень неубедительно. А надо было просто сказать: «Поднимите голову и посмотрите на лампочку, которая дает вам свет». Все это наука. Нужно, чтобы крепла связь между наукой и производством. Предприятия должны нуждаться в научных разработках. А самое главное, чтобы появлялось больше молодых ученых. Молодежь - основной питающий элемент науки.

Интервью академика Г.Красникова. «Каждый получит персонального робота»

С. Лесков



Россия взяла курс на модернизацию, и без сильной микроэлектроники ей не обойтись. Но в каком состоянии находится эта стратегически важная отрасль? Об этом рассуждает генеральный директор НИИ молекулярной электроники и завода "Микрон" академик **Геннадий Красников**.

Известия: **Геннадий Яковлевич**, в советские времена была популярна шутка о том, что в области электроники мы отстали от Запада навсегда. Это шутка или констатация факта?

Геннадий Красников: Это распространенное мнение, но оно ошибочно. Перед распадом СССР наше отставание достигало четырех лет. В СССР электроника на 90-95 процентов была военной, на Западе - 10-15 процентов. В гражданский сектор электроника не поступала, из-за этого создавалось впечатление о ее полном отсутствии. Помню, в конце 1980-х в Госплане вычеркивали гражданские заявки на микросхемы, потому что заводы были под завязку загружены оборонным заказом.

Известия: Но Горбачев взял курс на ускорение и назвал электронную базу одним из приоритетов. О стратегическом значении электроники говорят все лидеры, но отставание наверстать не удается. Может быть, эта область не подвластна нам?

Геннадий Красников: У Горбачева были только лозунги, экономически ничего не продумали. На микроэлектронику выделили денег больше, чем на БАМ, но потратили впустую. Вместо того чтобы развивать уже имеющуюся базу, стали строить второй Зеленоград и новые заводы во многих городах. Сейчас повсюду можно увидеть недостроенные бетонные корпуса, которые стоят как напоминание о расточительности. Потом Гайдар вдруг решил, что у нас ничего нет и не будет. Сколько раз он приезжал в Зеленоград, но только митинги посещал, на производство ни разу не зашел. Рухнул социалистический и советский рынок, а для микроэлектроники по затратам не имеет значения, одну микросхему производить или миллион. Технологическую линию надо обслуживать по полной программе, производство круглосуточное. В итоге отрасль просела, хотя в радиопромышленности провал много глубже.

История идет по спирали, мы повторяем ошибки. При создании особых экономических зон была выбрана концепция "чистого поля" - строительство с нуля. Но это хорошо для Китая или Тайваня, где не было электронной промышленности. В нашей стране создана инфраструктура, построены заводы. Но для того чтобы получить экономические льготы, надо переносить производство на территорию свободных экономических зон.

Известия: Путин и другие руководители государства приезжают в Зеленоград, российскую электронную столицу, очень часто. Кажется, ни одной другой отрасли лидеры не уделяют столько внимания. Вы, Геннадий Яковлевич, являетесь членом Совета по науке, технологиям и образованию при президенте РФ, членом научно-консультативного совета "Сколково", членом Совета ведущих ученых и конструкторов при правительстве. Пошла ли микроэлектроника в России в рост или отставание нарастает?

Геннадий Красников: Если взять знаменитый закон Мура, который определяет прогресс микросхем, во времена СССР мы отставали на два поколения. После разрушительных 1990-х отставание увеличилось до семи технологических поколений. Это было очень много, но все-таки это не навсегда. В последние годы микроэлектроника в России на подъеме, и сегодня фора сократилась до двух поколений. Это направление включено в программу исследований в проекте "Сколково", информатика названа одной из приоритетных областей высоких технологий в России. Как может навсегда отстать отрасль, в которой совсем недавно работал миллион человек?

В России в этой области сильные вузы и развитая инфраструктура, которая, конечно, нуждается в постоянной модернизации, ибо прогресс идет быстро. Скоро на заводе "Микрон" по инвестиционному проекту с "Роснано" начинается производство микросхем того же технологического размера 90 нанометров. Недавно первый образец был презентован Путину. Есть в мире микросхемы меньше - до 32 нанометров, но именно размер 90 нм необходим автомобильной и промышленной электронике, новым паспортам, банковским и смарт-картам. Это самая используемая технологическая норма в мире.

Главная проблема - отсутствие внутреннего спроса на микроэлектронику. Создать внутренний рынок может только государство, в том числе с помощью введения новых стандартов в различных областях. Например, обязать размещать на всех фармпрепаратах чип, гарантирующий от подделок. Или ввести в оборот единые социальные карты с микрочипами. Именно так происходит во всех развитых странах, и в государственной опеке нет ничего худого. Микроэлектроника служит локомотивом для всей экономики и, кроме того, является основой национальной безопасности, от ее качества зависит надежность ядерно-космического щита.

Известия: Если вы затронули военные дела, то скажите, реальны ли "закладки" в импортной электронике, которые могут сбрасывать информацию неприятелю?

Геннадий Красников: Это реально. Если такая закладка имеется, а обнаружить ее в схеме из миллиарда транзисторов крайне сложно, то в нужный момент по команде из Сети она может или блокировать работу всей системы, давать намеренные ошибки, или передавать считанные данные, скажем мягко, несанкционированным адресатам. Если мы хотим, чтобы наши спутники летали, а ракеты нас защищали, нам нужна собственная развитая и независимая микроэлектроника.

Известия: Несмотря на многие политические заявления и инициативы, население относится к идее модернизации скептически. Основания имеются - слишком много неудачных кампаний на нашей памяти. Может быть, России вообще не по силам инновационное развитие, и мы можем только потреблять чужие открытия?

Геннадий Красников: Наши люди сделаны из того же теста, что люди в странах, где инновации бурно расцветают и определяют развитие экономики. Я бывал во многих американских центрах, где развивается микроэлектроника. наших специалистов везде много, и везде они на самом хорошем счету. Но наша система пока не дает способностям человека раскрыться. Отсутствие рынка - слагбаум перед инновациями. За 20 лет после падения социализма ничего не построили. Мы пытаемся изменить систему, но прошло совсем мало времени, чтобы пришел результат.

Известия: 20 лет назад на фоне модернизации, ускорения и разговоров о высоких технологиях рухнула великая страна. Сейчас опять эпоха модернизации и опять высокие технологии в почете. Эта параллели вас не настораживают?

Геннадий Красников: СССР погиб не из-за модернизации, а из-за того, что она была непродуманна. Горбачев напоминает мне Николая II, тоже потерявшего страну. История России учит, что она может развиваться благополучно только при сильном лидере.

Известия: Ни одна другая область не меняет нашу жизнь столь стремительно, как микроэлектроника. Дайте прогноз, какие новшества ждут человечество в ближайшее время?

Геннадий Красников: В течение 10 лет появятся персональные роботы-помощники, которые будут выглядеть, как гуманоиды. Они возьмут на себя все рутинные функции - секретарь, водитель, повар, садовник, уборщица, переводчик. Датчики тепла обеспечат роботу тактильные и осязательные возможности. Робот будет потреблять нормальную пищу, которая сможет питать аккумулятор. Персональный робот приобретет человеческий облик, сможет свободно говорить и общаться.

Через 20 лет будет создана виртуальная реальность. Мы будем легко уходить в трехмерное пространство с элементами присутствия, электромагнитные колебания обеспечат эффект обоняния и осязания. Человек сможет жить в виртуальной реальности, которая окажется богаче, чем действительность. Что касается самого человека, то я убежден, что в обозримом будущем он превратится в киборга. Речь даже не об искусственных органах. Как только резко увеличится продолжительность жизни, потребуется столь же резко увеличить возможности памяти. В мозг придется вживлять биочипы, которые создадут в человеке симбиоз биологического организма и электроники.

Известия: Вероятно, в этом случае человеку будет особенно легко найти общий язык со своим секретарем. **Геннадий Яковлевич,** говорят, что сапожник без сапог, а насколько лично вы вооружены современными электронными гаджетами?

Геннадий Красников: Мне положено идти в ногу со временем. У меня в личном пользовании очень много электронной техники и, поскольку она постоянно совершенствуется, мне интересно испытывать новые образцы. Дома образовался небольшой музей гаджетов. Если прогресс не успокоится, дело дойдет до экскурсий.

Известия: Пока нам в голову еще не вживили чипы и мы обходимся своим, а не искусственным интеллектом, скажите напоследок, есть ли способ поддержания ясности ума?

Геннадий Красников: Нельзя лениться, нельзя останавливаться. Надо постоянно что-то делать, искать новое. Возраст - не помеха.

Интервью профессора МГУ Е.В.Антипова. «Наука и статус ученого в России должны по-настоящему стать заботой государства»

З.А. Титова



– Евгений Викторович, сейчас Вы заведуете кафедрой электрохимии и лабораторией неорганической кристаллохимии. Расскажите, пожалуйста, о своем научном пути

– По своей специальности я – химик-неорганик. В течение всей своей научной деятельности, начиная с дипломной работы, я занимался вопросами, связанными со строением неорганических соединений. Изучал взаимосвязь между структурой и свойствами соединений. Химических соединений много, а количество полезных свойств, крайне ограничено. Для того чтобы на самом деле использовать те или иные материалы в современных технологиях нам нужно понимать, как мы можем создавать необходимые материалы, направленно модифицировать их строение для улучшения функциональных свойств. Химический состав неорганического соединения мы можем изменять

различным образом, вызывая появление или улучшение нужного нам свойства.

Меня выбрали зав. кафедрой электрохимии в силу того, что последние 7 лет я занимаюсь получением материалов для электрохимических процессов и устройств. В электрохимии нам надо использовать электроды, электролиты, которые очень часто являются неорганическими соединениями или материалами на основе неорганических соединений.

Например, что такое процесс получения алюминия? У нас в промышленности и не только у нас, но и во всем мире, при производстве алюминия обязательно надо сжечь много углеродсодержащего сырья, потому что используются электроды, которые сгорают в процессе производства. Сейчас на производство 1 тонны алюминия надо употребить 400 кг сгораемого сырья. В результате в атмосферу выбрасывается более 1 тонны разнообразных газообразных продуктов: углекислого газа, монооксида углерода и др., включая фторуглероды. Уже более 100 лет человечество мечтает о возможности использовать в качестве электрода такой материал, который не будет сгорать в процессе электролиза, и на одном электроде будет получаться алюминий, а на другом - выделяться кислород. Объединившись с электрохимиками с одноименной кафедры, мы с 2004 г. стали разрабатывать инертные электродные материалы для получения алюминия. В это время я был лауреатом Фонда содействия отечественной науки, одним из основателей которого был генеральный директор компании «Русал» О.В. Дерипаска. Так я пришел в электрохимию. Через несколько лет меня избрали заведующим кафедрой электрохимии.

– Одно из направлений исследований в области материалов для энергетики связано с изучением свойств наноразмерных частиц. Объясните, что это такое, зачем необходимо и где

находит практическое применение? Что Вы, как специалист в данной области, можете рассказать о настоящем и будущем химических источников тока и топливных элементов?

– В последнее время большая часть моей работы связана с материалами для электрохимических источников энергии. Сейчас я занят проблемой получения новых материалов для литиевых аккумуляторов. Зачем они нужны? У каждого из нас наверняка есть 1, 2, 3 литиевых аккумулятора в сотовых телефонах, в плеерах, ноутбуках и т. д. Крайне важная задача - создать такие аккумуляторы, которые позволят запастись больше энергии на единицу массы, быстрее её использовать, дольше работать, которые будут еще и абсолютно безопасными и дешевыми. Когда будут достигнуты необходимые показатели, тогда мы будем использовать электромобили. В последние годы произошла настоящая революция в области литиевых аккумуляторов, пришло понимание того, что электроды для аккумуляторов нового типа должны создаваться на основе наноструктурированных композитных материалов, т.к. именно наноматериалы позволяют достичь необходимых характеристик. В мире уже проведены доказательные эксперименты и сделаны опытные образцы. Сейчас практически все серьезные автомобильные компании объявляют в планах выпуск электромобилей, которые будут обладать очень высокими запасами энергии, обеспечивающими большие пробеги порядка 300-400 км, высокую мощность, позволяющую быстро стартовать, ускоряться и, что не менее важно, их можно быстро заряжать. Завод по выпуску литиевых аккумуляторов для электромобилей сейчас строится в Новосибирске на средства, выделенные корпорацией «Роснано». Создание аккумуляторов с улучшенными характеристиками всегда связано с проблемой материалов. Другая важная область применения аккумуляторов – накопители энергии при ее генерации с помощью возобновляемых источников. Например, в дневное время можно получить электрическую энергию с помощью солнечных элементов (сейчас все цивилизованные страны строят станции на солнечных элементах). Одновременно необходимо запасти эту энергию в аккумуляторе для ее использования в другое время суток. По всем показателям сейчас литиевые аккумуляторы являются наиболее перспективными в качестве подобных накопителей энергии, т. к. появление наноструктурированных электродных материалов позволяет обеспечить необходимые характеристики для накопителей. Меня эта проблема увлекла 4-5 лет назад, и сейчас на кафедре электрохимии, в лаборатории неорганической кристаллохимии очень интенсивно ведется работа по созданию таких материалов с улучшенными свойствами. Например, результатом нашей работы по контракту с фирмой «BASF» (Германия), явился европейский патент на новый тип материалов для аккумуляторов, позволяющий иметь более высокие показатели по сравнению с материалами, используемыми в настоящее время.

Почему раньше нельзя было широко использовать литиевые аккумуляторы? Хотя они же стали производиться с 1991 года. Их применение было ограничено бытовой электроникой, т. е. устройствами, которые не требовали больших запасов энергии и высоких мощностей. Первое поколение материалов не обладало совокупностью свойств, о которой я говорил (высокая мощность, безопасность, экологичность, стоимость). В начале 1990-х гг. мы и подумать не могли, что будут такие сотовые телефоны, а сейчас мы удивляемся, как это раньше мы обходились без них, то же самое будет в ближайшем будущем и с электромобилем. Лет через 10 вас обяжут, да вы и сами купите электромобиль, это реально.

Другая интересная проблема связана с материалами для топливных элементов. Промышленно используются и выпускаются топливные элементы, содержащие благородные металлы, которые очень дороги. Крайне заманчива идея создать такие материалы, в которых бы не использовались благородные металлы. В этом случае можно говорить о возможности широкого использования топливных элементов, в том числе в автомобилях и других устройствах в распределенной энергетике. В данный момент аспирант ФНМ Филипп Напольский проводит совместные исследования с учеными из Университета Страсбурга свойств соединений неблагородных металлов, например, сложных оксидов кобальта, марганца для определения перспектив их использования в качестве электродов для топливных элементов.

– Сфера Ваших профессиональных интересов – высокотемпературная сверхпроводимость. Сегодня говорят о ее «2 дыхании». Что Вы, как специалист в данной области, можете рассказать о ее перспективах?

– Очень часто современный материал получается в какой-то степени случайно. История открытия высокотемпературных сверхпроводников - это цепь случайностей, если я начну рассказывать, это будет увлекательный детективный роман.

Мне очень хотелось, когда я стал заниматься высокотемпературной сверхпроводимостью в 1986 г., попытаться оптимизировать процесс поиска новых высокотемпературных сверхпроводников. Их открытие просто опрокинуло, перевернуло все представления в области физики этого явления, потому что впервые получили высокотемпературную сверхпроводимость там, где она была ранее запрещена существовавшей на тот момент теорией. И впервые это было показано на сложных оксидах меди, в которых можно было выделить структурные фрагменты – слои атомов меди и кислорода, присутствие которых определяло такие свойства. Эта сверхпроводимость возникала при температурах намного более высоких, чем было известно до того. Мы предложили модель строения подобных сверхпроводников – структуры срастания различных блоков, на основе которой можно было получать более сложные химические структуры высокотемпературных сверхпроводников. Это был конец 80-х – начало 90-х гг. Пользуясь разработанной моделью, мы получили сотни разных соединений уже не методом перебора элементов, а заранее представляя, какие элементы использовать, в какой пропорции их брать, в каких условиях получать желаемые химические соединения. Мы получили, по меньшей мере, более десятка высокотемпературных сверхпроводников, ряд из которых до сих являются рекордсменами по температуре перехода в сверхпроводящее состояние. В 1993 г. вместе с коллегами из Франции мы опубликовали статью в журнале «Nature» о существовании сверхпроводимости в сложных оксидах, содержащих в качестве одного из обязательных элементов ртуть, и показали, почему именно ртуть нужна для того, чтобы соединения обладали высокими температурами перехода. В этих соединениях сверхпроводимость существует при температуре -135 градусов Цельсия и ниже при нормальном давлении и -109 градусов Цельсия при высоких давлениях. Это пока непревзойденный в мире результат по значениям температуры перехода в сверхпроводящее состояние. Какое будущее у высокотемпературных сверхпроводников? Эти сверхпроводники уже сейчас нашли практическое применение и возможности будущего использования этих материалов очень большие. В прошлом году я посетил в Японии компанию «Сумитома-электрик», которая уже успешно производит сверхпроводящие кабели первого поколения на основе висмутсодержащих сверхпроводников, дающих возможность передавать электроэнергию без потерь.

Энергосбережение является одной из главных проблем для современного общества, решение которой необходимо для его успешного развития. Оно может решаться разными путями. Передача электроэнергии без потерь - это один из перспективных путей снижения энергопотребления. У нас в МГУ очень продуктивно работает сильная научная группа профессора А.Р. Кауля, которая разрабатывает сверхпроводящие кабели второго поколения на основе иттрийсодержащих сверхпроводников, и вот уже в будущем году планируется строительство опытного производства. Использование сверхпроводящих кабелей становится рентабельно, когда подсчитываются все затраты на их производство в большом масштабе, на использование хладагентов для охлаждения сверхпроводника до нужной температуры и т. д.. Я привел только один пример, что ожидать в перспективе от высокотемпературных сверхпроводников. Именно поэтому в программе развития МГУ до 2020 года отмечена важность исследований в области высокотемпературных сверхпроводников. Не так давно, в 2008 г., были открыты новые сверхпроводники, про которые практически каждый день выходит новая публикация, это так называемые железосодержащие сверхпроводники с мышьяком. Блок железо-мышьяк - это новый ключевой, отвечающий за явление сверхпроводимости, структурный фрагмент. Путем выбора других дополнительных атомов в нужной пропорции можно получать новые химические соединения, в кристаллической структуре которых отвечающий за сверхпроводимость блок будет иметь оптимальную структуру. Пока температура сверхпроводимости у этих новых сверхпроводников существенно ниже, чем у медных оксидов - максимально –218 градусов Цельсия, но есть целый ряд интересных физических

свойств, которые привлекают внимание к этим соединениям в мире. Например, в этих соединениях сверхпроводимость существует даже при сверхвысоких магнитных полях. Физической теории высокотемпературной сверхпроводимости еще нет. 10 ноября 2010 года вышла статья в «Nature», описывающая новое понимание этого явления на основе экспериментальных данных, полученных на сверхпроводнике, который мы открыли. Исследование этого материала может привести к более полному пониманию природы этого уникального физического явления, которое нам необходимо понимать, если мы хотим создавать высокие технологии на основе подобных материалов.

– Как организуется преподавание в специализированных группах по нанотехнологиям на химфаке и в НОЦ МГУ. В чем основное отличие? Существует мнение, что изначально НОЦы создавались, чтобы ведущие ученые обучали студентов, читали лекции, и в ряде институтов РАН получилось, что они просто набирают в свои лаборатории учащихся, и этим дело «подготовки нового специалиста» ограничивается. А как обстоят дела в НОЦ МГУ?

– Идея НОЦ по нанотехнологиям - сделать образование междисциплинарным, чтобы в процессе обучения студенты получали больше знаний в смежных областях наук, которые обычно не даются или даются не в полном объеме во время их обучения на своих факультетах: например, химики получали бы больше сведений из области физики. В Центре по нанотехнологиям открыты специализации: наносистемы, наноустройства (более физическое направление, но для того чтобы студенты имели лучшее представление о химических объектах, добавлена химико-биологическая составляющая), функциональные наноматериалы (базируется на химическом факультете, но существенно добавляется физическая составляющая), нанобиоматериалы (здесь комплексно задействованы химфак, биофак, факультеты биоинженерии и биоинформатики, фундаментальной медицины, и тоже существенно расширены химико-физические дисциплины). Мы не хотим воспитать дилетантов, на самом деле мы хотим воспитать более качественных специалистов. Я отвечаю за специализацию по наноматериалам. Необходимо, чтобы при обучении студенты приобретали знания, не только о том, как получить нужный материал, но и какими свойствами может обладать этот материал, и почему он наделен именно этими свойствами, а здесь уже серьезные знания физики требуются. Я рассказывал Вам про литиевые аккумуляторы, но если мы будем заниматься этой проблемой только в рамках неорганической химии, то ее невозможно решить. Так как материал должен работать в устройстве, в аккумуляторе, у него должен быть контакт с электролитом - жидкой фазой и, следовательно, должно быть понимание, как устроена эта жидкая фаза. Существуют разнообразные физические и химические явления, которые не затрагивает глубоко неорганическая химия, они относятся к физической химии, физике твердого тела и др., поэтому мы специально добавили в учебный план такие дополнительные дисциплины, которые помогают студентам лучше ориентироваться в решении подобных задач, в нашем случае - в создании новых функциональных наноматериалов. Студенты должны понимать, что происходит, когда неорганический материал работает в устройстве. Вот это и есть основная идея НОЦ - междисциплинарность образования, и естественно для этого мы сделали специальную программу обучения, в которой преподаются дополнительные физические и химические курсы. Мы надеемся, что студенты, получившие дополнительные знания при обучении по программе НОЦа, в будущем будут успешно создавать новые материалы для высоких технологий.

Сейчас на химфаке есть специализированные группы 2-х типов: одни группы набираются на 4-5 курс и там обучают студентов с разных кафедр: например, сейчас в этих группах учатся студенты кафедр неорганической, физической, аналитической химии и химической технологии. Они прослушивают дополнительные курсы, делают дополнительные практикумы, у них изменена программа, учиться в этой группе тяжелее, потому что дается больше знаний. Студенты на 5 курсе защищают дипломную работу, и в этом году первые 16 выпускников получают отдельные сертификаты о том, что они прошли обучение по специализации функциональные наноматериалы. С другой стороны, с этого года мы впервые стали набирать студентов в группу «функциональные наноматериалы» на 1 курсе. В эту группу взяли по конкурсному отбору приблизительно 60% от общего числа всех желающих, которые, как мы считаем, могут успешно учиться. Однако, я не совсем прав, сказав, что в этом году впервые, на самом деле, мы используем традиции химфака в

области обучения спецгрупп с 1 курса. В частности, эта группа раньше называлась группой перспективных процессов и материалов и была создана более 20 лет назад акад. В.А. Легасовым. Курирует ее акад. Ю.Д. Третьяков, и с этого года она просто больше переориентирована на обучение в области функциональных наноматериалов. Кроме того, добавляются дополнительные курсы, и если раньше преподавание базировалось в основном на неорганической составляющей, сейчас появляются еще и другие химические направления. Здесь для студентов с 1 курса мы используем накопленный опыт точечного, индивидуального обучения. Принципиальным моментом обучения спецгруппы 1 курса является обязательность участия студентов в научной работе уже буквально со 2-3 месяца, когда они только что пришли на факультет. В начале они получают информацию: перед ними выступают руководители разных подразделений, они посещают лекции, различные лаборатории, анализируют литературу, информацию в интернете. Затем они сами изъявляют желание работать в той или иной научной группе. По статистике обучения в такой спецгруппе уровень знаний студентов существенно выше, чем у среднестатистических студентов факультета. Необходимо сказать: учиться в рамках групп НОЦа тяжелее, поэтому те, кто обучается в университете только для того, чтобы получить диплом, а не специальность, такие группы не выбирают.

– Сейчас много разговоров о Болонской системе высшего образования. Ваше отношение к бакалавриату-магистратуре. В чем плюсы и минусы или для будущего ученого-химика лучше все-таки традиционный специалитет?

– Для того чтобы стать хорошим химиком надо, по меньшей мере, отучиться около 10 лет: 5 лет-университет, 3 года - аспирантура, плюс еще обязательно год на защиту, плюс еще надо поработать несколько лет, и только после этого вы будете из себя что-то серьезное представлять. А кто-то хочет, придя в университет, буквально через 3-4 года хорошо зарабатывать, и для них бакалавриат был бы самое оптимальное решение. Конечно же, в этом случае, это был бы неполноценный химик, а был бы человек, владеющий ограниченными знаниями в области математики, физики, химии.

2-х уровневая система позволяет проходить дальнейшее обучение в магистратуре, в аспирантуре именно тем студентам, которые осознанно хотят работать в будущем по выбранной специальности, а не работать, например, в турагентстве или менеджером в компании по продажам чего-либо.

В силу того, что я преподаю на факультете уже много лет, могу сказать одно: отношение студентов к учебе очень сильно меняется по мере того, как они идут от 1 до 5 курса, происходит их расслоение. Какая-то часть студентов хочет получать знания, хочет становиться специалистом, а какая-то часть просто хочет получить диплом.

2-х уровневая система образования предоставляет возможность цивилизованно решить проблему тем людям, которые поняли в какой-то момент своего обучения, что они выбрали не ту специальность для своей будущей работы. Физика, химия, биология, геология - это очень тяжелые специальности, где надо очень много работать в лаборатории руками и головой. В этом случае отношение к Болонской системе положительное. Есть еще другой момент - в условиях сильного катаклизма, который произошел в нашем обществе, очень многие оказались финансово в тяжелом положении, поэтому многие талантливые молодые ребята по тем или иным причинам не могут далеко уезжать, их не могут содержать родители или они слишком юные, поэтому они поступают в какие-то близлежащие университеты. Плюс Болонской системы в том, что она позволяет таким талантливым ребятам в дальнейшем продолжить свое обучение в Московском университете. Минус Болонской системы очевиден: бакалавр-химик, я бы сказал, что это будет не химик, а будет бакалавр. Слово красивое и для того, чтобы продавать химреактивы достаточно, но этого недостаточно, чтобы осознанно создавать необходимые химические продукты. По уровню подготовки он лаборант, а не квалифицированный специалист. Тут государство должно взвесить, потому что образование химика безумно дорогое: нам требуется очень дорогостоящая аппаратура: цены приборов измеряются в миллионах долларов, нам требуются дорогостоящие реактивы, все

это также крайне трудоемко, но без высококлассных специалистов-химиков просто не будет прогресса.

– Кстати, о будущих научных гениях. Одной из целей недавно прошедшего Фестиваля науки — было привлечь к исследовательскому поиску талантливую молодежь. Как Вы считаете, Фестиваль науки полезен ли он школьникам или они воспринимают это все как попытку красиво продемонстрировать широкой публике выдающиеся достижения научной мысли, которые только-только внедряются в повседневную жизнь?

– Очень полезное мероприятие. Любой ценой надо популяризовать, информировать общество о необходимости, важности науки. Здесь любые средства хороши. Фестиваль науки набирает обороты, и стал, на самом деле, общемосковским и общероссийским мероприятием и если даже несколько молодых людей, потом потянутся к науке - это уже плюс. Фестиваль науки - это блестящая идея, он в той или иной форме проводится во многих цивилизованных странах. Например, я был во Франции, в Гренобле, там научные заведения тоже проводили фестиваль науки, тысячи жителей Гренобля и близлежащих поселков приезжали знакомиться с научными достижениями, им было очень интересно. На самом деле науку надо популяризовать, но естественно, что ее надо популяризовать в правильном направлении, не опускаясь до какой-то дешевой рекламности или антинаучности. К счастью, Фестиваль науки, который проходит в нашем университете, а я сужу по программе, по выступающим, отвечает очень высоким стандартам. Тем не менее, его надо всячески развивать, может быть, даже транслировать какие-то лекции по телевидению, или напрямую через Интернет. Потому что много блестящих лекций, интересных экспонатов выставки... В целом, отношение только положительное. Неважно, сколько на Фестиваль науки придет человек: тысячи или всего несколько сотен. Важно, чтобы потом некоторые из них решили заниматься наукой, в том числе в университете, необязательно в МГУ, важно чтобы они захотели стать физиками, химиками, биологами.

– Как Вы думаете, почему сегодня юношей и девушек нужно привлекать, чтобы они осознанно шли в науку, популяризовать, можно даже сказать, рекламировать, профессию, высокое звание ученого. Это же сочетание несочетаемого. Раньше такого не было, а желающих поступить на тот же химфак и физфак из года в год было стабильно много, теперь все иначе. Хотя востребованность ученых-естественников нынче очень высока, так почему же спрос есть, факультеты, готовые предложить специалистов, имеются, а выпускники школ неохотно идут сюда учиться. Неужели стать ученым с признанным именем у них нет интеллектуальных способностей, не хватает амбиций?

– Чтобы человек шел на химфак, ему должно быть интересно все время задавать вопрос «почему», а не только получить диплом и хорошую зарплату в будущем, он должен научиться ставить вопрос, почему так происходит, предлагать возможные объяснения наблюдаемым явлениям. Это естествознание. Человеку должно быть на самом деле интересно сделать что-то новое, получить удовольствие от какого-то возбуждающего научного результата. Профессия ученого, к счастью, дает такую возможность, потому что наша профессия — это сочетание работы и хобби, это интересная профессия. Конечно, проблемы будут обязательно и будут самые разные, но лучше, если они будут касаться, как грамотно поставить эксперимент, как грамотно интерпретировать полученные результаты или как прочитать научную или учебную лекцию, чем как выживать в современных условиях. Я понимаю, и у меня нет никаких иллюзий, что ученый должен быть супер высокооплачиваемым работником, но он однозначно не должен жить так, как сейчас.

Я вырос в те времена, когда ореол науки, ее притягательность были очень высоки. Были очень хорошие фильмы о науке, например, «9 дней одного года». Стать ученым тогда считалось очень интересно. Однако, сейчас, особенно, в смутное время 90-х годов слово ученый стало часто нарицательным, синонимичным слову «нищий», и когда я по радио слушал рекламу сотовых телефонов с фразой «ну ты доцент ничего не понимаешь» это был апофеоз, что ты такой тупой как «доцент» и у тебя даже нет денег, чтобы купить и понять. И это на самом деле трагедия общества. Сейчас статус ученого, а статус определяется, в том числе и зарплатой, низведен к очень низкому уровню. Я много езжу по миру и поэтому могу сказать, что хуже, чем в России, статус ученого

трудно найти в любой другой цивилизованной стране. На самом деле проблема еще более серьезная. Статус ученого измеряется и определяется не только зарплатой, но и его положением в обществе, отношением в обществе, предоставляемыми возможностями. Потому что стать ученым, чтобы получать хорошую зарплату, но при этом не иметь возможности заниматься наукой, это тоже бессмысленно. Люди приходят на физфак, химфак в Московский университет, чтобы стать физиком, химиком, в этот момент они все же не думают о зарплате, они что-то хотят сделать в будущем, но потом видят, какое на самом деле состояние дел в нашей науке. Я сохранил, развил свою научную группу, лабораторию во многом благодаря открытиям, сделанным в области высокотемпературной сверхпроводимости. Мы в то время получали большую часть денег финансирования из-за рубежа, мы сохранились в науке во многом за счет зарубежных грантов. За счет этих средств мы поддерживали молодых ребят в науке, но это на самом деле должны быть задачи государства, а не западных фондов.

Понимаете, пока менеджер в банке будет получать в намного раз больше, чем научный сотрудник, создающий, например, химические материалы, тогда и привлекательность труда последнего будет откровенно низкой. Для научных сотрудников государство не создало необходимых условий для продуктивной творческой работы, на самом деле мы выживаем. Это самое неприятное. Я еще раз повторю: я езжу по многим странам мира и прекрасно вижу, какой статус ученого там и здесь. И поэтому у нас пойти работать менеджером, продавая что-либо, намного перспективнее и выгоднее, чем создавать что-либо, например, новые материалы. Общество не должно этого допускать, но наше общество это допустило. И то, что сейчас декларируют наши руководители, это все правильно, только действовать надо намного решительнее, потому что мы теряем поколение. Те люди, которые креативны, часто выбирают совсем другое направление или уезжают за границу. Зачем становиться химиком и потом нищенствовать, бороться с безумной бюрократией, в рамках закона ФЗ -94, пытаться получить какие-то лоты на непонятных, на антинаучных условиях?

Пока государство не создаст адекватной нынешним его задачам научную политику, как, например, в Америке, в Японии или во Франции, где научный сотрудник зарабатывает больше, чем мелкий клерк в банке, до тех пор молодых людей, желающих стать учеными, будет становиться все меньше и меньше. На моей кафедре у молодых ребят, которые заканчивают учебу в аспирантуре университета, зарплата 8 тыс. 400 руб. в месяц, с надбавкой у них получается 12 тысяч. Дальше о чем мне говорить. Какая зарплата у человека, который продает что-либо в компаниях? Поэтому мы теряем кадры, поэтому уменьшается конкурс на естественные факультеты. Потому что на таких условия жить талантливые молодые ребята сейчас не могут. Им надо создавать семьи, кормить детей, жить где-то... Я просто вижу, какова безумная текучесть кадров, поэтому мы пытаемся сохранять свои сотрудников, заключая какие-то дополнительные договора с компаниями, однако все это сильно ослабляет их научный рост, если вы выполняете что-то по заказу, то должен быть баланс. В американской, европейской, японской научной деятельности есть баланс, есть грамотная организация, у нас – нет. Если будет идти так и дальше, у нас потом будут конкурсы 1 чел. на место, это страшно для страны будет, страны, которая запустила 1-й космический спутник.

В 2007 г. 4 октября вышел журнал «Nature», посвященный 50-летию запуска Советским Союзом первого спутника, который произвел на самом деле революцию в оплате труда научным работникам в США: за 1 год зарплаты ученых в Америке выросли в 2 раза. Американцы поняли, что им деваться некуда, им надо срочно создавать конкурентоспособную с СССР технологию и науку. Мне говорили американские ученые, что они благодарны российскому спутнику. Этот журнал «Nature» ровно через 50 лет на обложке написал «Назад на Землю» и проанализировал в редакционной статье, почему советско-российская наука из той, которая создавала спутники, сейчас не находится в авангарде научного прогресса. Корреспондент взял интервью у 6 ученых, в том числе и ко мне обратился. Я высказал свою точку зрения, как нам надо организовывать научный процесс, и пока что-то разумное, принятое во всем мире, не будет делаться, у нас ничего не изменится, а должно поменяться кардинально, только тогда и конкурсы на естественные факультеты будут высокими. То, о чем вы спрашивали. Ведь задача МГУ, чтобы мы отбирали, и у

нас проходила обучение именно самая талантливая молодежь страны. В этом нет ничего плохого. Потому что в Америке очень много колледжей, которые готовят бакалавров и те потом стремятся попасть в Гарвард, в Калтех, Принстон и др., в ограниченный набор университетов, чтобы стать магистром. МГУ на самом деле Гарвард плюс эти университеты ...фактически в одном лице. Поэтому путь один: должно быть образование, которое отвечает высшим мировым стандартам, а это возможно в том случае, когда имеются адекватные ресурсы и с точки зрения экспериментальной базы наших практикумов и научных лабораторий, и с точки зрения уровня квалификации наших преподавателей и научных сотрудников. Необходимо чтобы преподаватель постоянно совершенствовал учебный процесс, а не думал о том, заработал ли он сегодня на хлеб насущный. Вот и все. Это серьезная государственная проблема.

– И в продолжение вопроса, по каким критериям, на Ваш взгляд, ученых можно считать выдающимися? В июле 2010 в федеральной программе "Научные кадры" были объявлены условия конкурса по привлечению в российские вузы лидеров мировой науки, причем на каждый проект выделена беспрецедентная сумма - 150 миллионов рублей. Перечислите, по возможности, наиболее оптимальные наукометрические показатели таких проектов.

– Я очень положительно отношусь к идее этой программы. Однако я считаю, что подобные гранты нужно давать только тем ученым, которые возвращаются на постоянной основе для работы в России, а не для 4-х месячного визита, и в результате потом исчезнуть. Это очень большие ресурсы, и за эти ресурсы нужно соответственно и спрашивать. Почему я так говорю? Потому что я знаю очень многих хороших российских ученых, которые преуспели за границей и которые в силу обстоятельств хотели бы вернуться в Россию. Тогда бы мы проводили конкурс на самом деле среди наших соотечественников, которые хотят вернуться в Россию и здесь успешно работать, создавая мощнейшие конкурентоспособные в мире лаборатории. Я здесь целиком «за».

По критериям. Вот в спорте, какой существует критерий? Быстрее, выше, сильнее. Поэтому когда 1 бегун пробежал быстрее, он - олимпийский чемпион. Однако такую простую систему к науке применить крайне сложно. Очень долго размышляли, как оценивать эффективность работы ученых, ведь мы создаем новые знания. С этой целью был разработан целый ряд наукометрических показателей. Я являюсь полным сторонником их использования. Одновременно я являюсь и сторонником того, что должно быть полное понимание, что наукометрические показатели хороши только в качестве первичного квалификационного барьера. Например, индекс цитирования. Вот об этом многие говорят. Это как тираж. Вы издали книжку, ее покупают, тираж большой, значит, все здорово. Не покупают, значит, ваша литература никому не интересна. Как часто вас цитируют ваши коллеги? Не вы сами, потому что индекс цитирования означает без учета самоцитирования. Но следует иметь в виду, что этот критерий требует дифференцированного подхода. Например, если вы работаете в модной области, то, естественно, у вас этот показатель будет выше, но если вы создаете что-то принципиально новое, и это может быть востребовано в будущем, то в данный момент у вас будет не очень высокий индекс цитирования, это нужно учитывать. Второй обязательный критерий - это качество ваших научных публикаций. Я говорю про физиков, химиков, биологов. Что это значит? Качество тех журналов, которые публикуют вашу научную продукцию. Если сравнивать со спортом, то это означает, в каких соревнованиях вы участвуете: на Олимпийских играх или во дворе бегайте со сверстниками. Почему так? Потому что качество журналов подразумевает качество научной экспертизы вашей научной продукции: насколько серьезно ее рецензируют, квалифицируют насколько верно, например, получены экспериментальные данные, насколько грамотно их интерпретировали, насколько на самом деле важно и интересно новое знание, которое вы получили. Если у вас качественный научный результат, то вы публикуетесь в авторитетном научном журнале - это как знак качества. Третий критерий - это как признают результат ваши коллеги. Т.е. приглашение прочесть доклады на авторитетных, престижных международных конференциях. Когда вас приглашают выступить с лекцией, считают что ваша работа, научный результат будет интересен ученому сообществу. Четвертый показатель. Как вы участвуете в работе международных научных обществ, редколлегий международных журналов. Вы не можете сами сказать: «я хочу». Вас должны выбрать, предложить вашу кандидатуру. Если редакции авторитетных международных

научных журналов вас приглашают быть членом редколлегии, значит это определенный знак качества вашей работы, и вы его получили. Коллеги не пригласят кого угодно. Далее - это количество выполняемых крупных контрактов, полученных от серьезных компаний, если вы заняты прикладными исследованиями. Вот эти показатели в сумме и надо анализировать. Например, вы претендуете на позицию, допустим, профессора в американском университете. Если у вас с этими показателями плохо, то у вас нет никаких шансов. Это ни что иное, как первичный квалификационный барьер, который должен быть для профессора, для доцента, для ст. научного сотрудника. Барьера не должно быть для мл. научного сотрудника. Начинается карьера, он должен расти как ученый, делать результаты. В принципе так происходит во всем мире. Но у нас в стране на эти критерии не обращают серьезного внимания. Почему? Да потому, что тогда очень многое должно измениться в финансировании научных подразделений, их кадровом составе и т. д.. Возвращаясь к вопросу о наукометрическом показателе, да, обязательно надо его использовать. Другого пути нет, потому что иначе будет субъективизм, а субъективизм часто приводит к коррумпционности. И наша наука и образование тогда не сможет развиваться. Но опять-таки это надо использовать с умом. Не надо говорить, что тот, у кого 3 тыс. цитирования в полтора раза лучше того, у которого 2 тысячи. Нет категорически, но, если ученый не имеет разумного индекса цитирования, то вопросы должны быть заданы. А почему он/она публикует статьи, которые не цитируются коллегами, или, почему статьи этого ученого не публикуют серьезные научные журналы и т. д. Эти критерии заставляют ученых на Западе или Востоке очень активно и качественно работать.

Выделяя такие мегагранты, в оценке которых наукометрические показатели играли важную роль, наше государство уже показало, что оно заинтересовано и хочет развивать отечественную науку. Серьезный ученый может выиграть такой грант, создать свою лабораторию в Российском университете и может реализовывать свои замыслы, идеи.

– Расскажите о своем Учителе. Том самом преподавателе, который сумел разжечь в Вашей душе жажду знаний, что подразумевает живой интерес, готовность искать и работать, ошибаться и снова пробовать, приобретать, терять и снова находить. Возможно, у вас был какой-то интересный случай в школе, связанный с химией?

Я родом из очень симпатичного маленького г. Туапсе. Мой школьный учитель химии Н.Н. Крикленко. Однако тогда, в школе, я интересовался и физикой и химией. Если честно, то химия казалась понятнее и проще, чем физика. Хотя я участвовал в олимпиадах и по физике и по химии, и думал очень долго, на какой факультет пойти на химфак или физфак и тут, как это часто бывает в жизни, мой друг Володя Мишин предложил поступать вместе на химфак, и я согласился. Вот так. Случай с химией?.. Я помню, как мой школьный учитель, а я был учеником 8 кл., попросила меня прочесть 2-х часовую лекцию с демонстрацией химических опытов и их объяснением в ПТУ, которое готовило матросов, и лекция пользовалась большим успехом. Чтобы прочитать лекцию в 8 кл., это надо было серьезно подготовиться, продумать все опыты, написать. Мой школьный педагог много индивидуально со мной беседовал, не занимался, не репетиторствовал, а просто беседовал, рассказывал, и было интересно, и химические кружки были. Я много дополнительно читал книг очень популярной тогда серии «Общество Знание». На химфак поступил в 1976 г. Учитель научный - это профессор Л.М. Ковба. Многому чему научили и сильно помогали, направляли заведующий кафедрой неорганической химии Ю.Д. Третьяков и декан факультета В.В. Лунин. Мне также очень много дали зарубежные коллеги, с которыми я сотрудничал: например, профессор М.Марезио, с ним я работал во Франции, и многие другие.

Я думаю, в целом химфак МГУ просто уникальный факультет в стране. И во многом это заслуга руководителей университета, которые привлекали выдающихся ученых к созданию научных школ на химфаке и плюс ко всему были огромные ресурсы, никакой другой университет не имел таких ресурсов и таких сотрудников, т. е. особый статус МГУ исторически был создан. Я сейчас зав. кафедрой электрохимии, которой руководил великий ученый А.Н. Фрумкин, создавший важные направления в современной электрохимии. Он был одним из наиболее крупных электрохимиков мира, поэтому сейчас одна из высших наград в электрохимии называется в его честь. Он создал

великолепную научную школу, естественно, как выдающийся ученый, он быстро понимал, кто есть кто, и выбирал талантливых молодых ученых для работы на кафедре.

Сейчас для развития нашей науки одним из возможных перспективных вариантов является приглашение выдающихся ученых с помощью мегагрантов, и тогда будут появляться новые очаги развития. Эта мера будет эффективной только в случае перехода таких ученых в российские университеты на постоянной основе, с одновременной перестройкой всей системы организации науки в России и созданием эквивалентной мегагрантам системы поддержки уже эффективно работающих в России научных групп.

Беседа Пола Вейса с Фаэдоном Авурисом, главным менеджером по нанотехнологии в IBM Watson Research Center. «О нанотрубках, графене и электронике»

Д.А.Баранов



За последние десять-пятнадцать лет коллектив из IBM Watson Research Center ведомый Фаэдоном Авурисом (Phaedon Avouris) чего и где только не изобрел и, соответственно, не напечатал. Википедия знакомит нас с основными вехами в развитии Авуриса - университет в Салониках, PhD (физхимия) в Michigan State University, постдок в UCLA и Bell Labs, сотрудник IBM с 1974 года, а в настоящий момент менеджер нанонауки и нанотехнологии там же. Вашему вниманию предлагается перевод беседы доктора Авуриса с Полом Вейссом, главным редактором журнала ACS Nano, где данный материал и был впервые опубликован на английском языке. Перевод в двух частях. Часть первая.

Пол Вейсс: В чем ты находил поддержку и вдохновение для исследований на протяжении карьеры?

Фаэдон Авурис: Думаю, что человеком, оказавшим самое большое влияние на меня, был молодой профессор Николай Александру, который, в свое время, только вернулся из университета штата Иллинойс. Он был химик-органик, и он принес с собой новые идеи в области химии - представления о реакционной способности с точки зрения перемещения электронов к реакционным центрам, правила Вудворда-Хоффмана, и так далее. Он научил меня думать о химии с точки зрения концепции антропного принципа, максимума энтропии, и так далее. Все это помогло мне лучше понимать материалы, их химические и физические свойства. Мне удалось общаться с этим человеком только в течении очень короткого времени, но это общение повлияло на то как я думаю о материалах. Моя подготовка как химика оказалась очень полезной, несмотря на то, что люди воспринимают меня как физика и инженера. Я все еще мыслю как химик. Это влечет за собой способности к интуиции, которых люди, прошедшие подготовку в качестве физиков или инженеров, не имеют. Зачастую, последние должны сначала сделать модель или расчеты, чтобы предсказать что-то, в то время как для нас очевидно, что произойдет.

В Штатах, конечно, все было по-другому. Я работал во многих областях - занимался спектроскопией с Мостафа Эль-Сайедом [1-5], затем переехал в IBM и изучал химию поверхностей, сначала в сотрудничестве с Джо Демуттом [6-15], а потом и самостоятельно - нанотрубки и СТМ тогда были на коне. Как вы знаете, я провел много, много лет работая над всем этим. Туда же графен и другие углеродные материалы, эксперименты и теория. Это была хорошая жизнь!

ПВ: Что повлияло на твое решение заняться углеродной наноэлектроникой?

ФА: Ну, я просто читал первые работы о нанотрубках и размышлял о межмолекулярных взаимодействиях в тоже время. Как-то я беседовал с Риком Смолли, который мне рассказывал, что нанотрубки прекрасны - очень прочные и жесткие, а также бездефектные. Каким-то образом это не соотносилось с моими представлениями о том, как эти нанотрубки должны себя вести. На самом деле, мои первые работы в этой области были на атомно-силовом микроскопе - тогда я заметил, что нанотрубки деформировались находясь на подложке [16-18]. У меня были картинки нанотрубок лежащих друг на друге, которые даже появились на обложке "Journal of Physical Chemistry" [16]. Верхняя трубка там огибала нижнюю и, на мой вкус, они больше походили на спагетти, чем на что-то идеальное и жесткое. Так я начал изучать их более подробно. (В то время я как раз закончил мои исследования с атомной манипуляцией на поверхности кремния [19, 20]). Я обратил внимание на то, как трубки реагируют на всякие воздействия и увидел, что их можно складывать и перетаскивать (Рисунок 1). Теперь я уже мог позиционировать их (снова походивших на спагетти). Это меня заинтриговало.

Я понял одну вещь: физическая химия сосредоточена на молекулярных системах. То есть на структуре молекул, их спектроскопии во всевозможных диапазонах длин волн, реакционной способности, магнетизме (если он есть). Изучение их электрических свойств было единственным, что еще не было сделано. В тоже время это отличалось от физики конденсированных сред. В первую очередь потому, что никто не знал как найти подход к отдельно взятой молекуле. Меня заинтересовало, как это так - мы столько знаем о молекулярном мире, но... ничего не знаем о его электрических свойствах. Будучи студентом, я читал в каком-то научном или научно-популярном журнале про интеркаляцию йода в крахмал и про то как от этого материал становится проводящим. Я бы сказал так: "знаете, есть что-то такое в электричестве в чем химикам необходимо принять участие. Как насчет молекул и электричества?". Так я заинтересовался электрическими измерениями молекул и уже тут нанотрубки оказались идеальной системой. Вскоре после того как я этим занялся, Сиис Деккер уже работал с трубками от Смолли [21, 22], ну и мы делали то же самое [23-26].

В то время мы оба дошли до первого транзистора на нанотрубках, что и вовлекло меня в изучение их электрических свойств. Я также работал с молекулами, но там нас больше интересовали концептуальные аспекты, то есть в чем же основные отличия молекулярных систем. С теми методами, что были в моем распоряжении, продвигать это было не легко. Собственно так и начались нанотрубки... сначала механические свойства, жесткость, потом уже изучение индивидуальных трубок [27, 28]. В IBM мы спрашивали себя, что мы можем с ними сделать? Полезны ли они? Ну, мы сделали первые транзисторы, потом реализовали простые логические схемы [29, 30]. В какой-то момент пригодился мой опыт в спектроскопии. Меня всегда интересовал безызлучательный распад, так что я обратил внимание на их эмиссионные свойства [31-34]. Так начались исследования электролюминесценции в нанотрубках и встали вопросы о том, откуда в них берется свет. Дальше больше.

ПВ: В чем ты видишь будущее и потенциальные преимущества углеродной наноэлектроники?

ФА: Здесь два аспекта. Никогда не существует прямой корреляции между тем, что ты обнаружишь сейчас и тем, какие возможные применения появятся в будущем. Сейчас у нас есть определенное понимание того, что такое электроника и оптика, но это не означает, что в будущем будут только полевые транзисторы и световые диоды. Основу для инноваций будущего создает то знание которое мы добываем. Думаю, нанотрубки явились основой для понимания тех многих возможностей что доступны в нано- и молекулярном мире. Не уверен, что технология будет полностью зависеть только от всего этого. Сейчас технология включает в себя как технические так и финансовые факторы.

В любом случае, по сравнению с любым другим материалом, нанотрубки могут обладать уникальными свойствами на малых масштабах. Но достаточно ли этого? Нет. Их дальнейший успех зависит от того, насколько они технологичны, дешевы, конкурентноспособны на рынке и может ли конечный результат оправдать расходы на новые производства. Эти вопросы уже за пределами забот ученых. Основной вклад наших исследований состоит не в самих технологиях, а

в понимание природы, что само по себе является основой технологий будущего. Последние могут появиться как и из того над чем мы работаем прямо сейчас, так и из использования накопленных нами знаний.

Изготовить определенные нанотрубки и четко обозначенные структуры - есть пути как без этого обойтись, хотя бы временно. Если вы хотите заменить кремний, тогда вам необходимы строго определенные трубки с одинаковой шириной запрещенной зоны, чтобы их можно было одновременно переключать. Но если вы у вас другие цели, например, вы хотите легкие и гибкие устройства, или чтоб светило (и в этом всем есть большая потребность), тогда вы можете избежать мороки с синтезом изготовив массив, который эффективно усреднит поведение нанотрубок. Если вам удастся получить однородную смесь, то вы достигнете хорошей производительности. Не чета кремнию, но и цели заменить его не было, для других применений. Например, военные хотят электроники которую солдаты смогли бы одевать, то есть легкой и гибкой. Это большой рынок, который еще будет расти и требовать разной электроники, молекулярной ли, на нанотрубках, какой угодно.

Углеродная электроника, как и сам углерод в общем, распространяется повсеместно. Опять же, не обязательно как замена кремнию и не из-за закона Мура. Просто существует множество применений, тут я думаю, со мной согласятся многие эксперты. Я только что приехал с DRC (Device Research Conference) и там был пленарный доклад о будущем электроники, и докладчик (Dr. Kensall D. Wise, Center for Wireless Integrated MicroSystems, University of Michigan) настаивал, что будущее не в компьютерах, а в биоприменениях [35]. В частности, во всех видах устройств для слуха, зрения, болезни Паркинсона, то есть те которые наделяют способностью. Он здорово это преподнес - применения для качества жизни. Это не самые быстрые в мире компьютеры, но это то, что может использоваться людьми и приносить пользу.

Думаю, чтобы выйти за пределы того, что мы имеем сегодня, необходимо заниматься фундаментальной наукой. Необходимо понимать. Исследования в такой среде как IBM устроены именно так. Мы постоянно равняемся на суперсовременную и точную технологию, мы углубляемся в детали и пытаемся достичь контроля и четко определенных свойств. Условия могут быть и полегче, если технологии не нужна такая точность, но совсем неплохо знать, что именно за что отвечает. Это потом вы уже решите, нужен ли вам такой уровень контроля или нет.

ПВ: Можешь рассказать нам про высокоскоростные графеновые транзисторы?

ФА: Графен это один из самых интригующих материалов; мы знали это уже очень давно. Мы всегда использовали его как модель, для обсуждения ряда свойств [36]. Вы найдете его во всех книжках по органической химии, просто он там не назван графеном. Думаю, графен был принят в качестве названия ИЮПАК в 1995 году, но у нас его как материала тогда еще не было. Он также использовался в обсуждениях нанотрубок и так далее. Ученые работающие с поверхностями знали о нем, но он скорее мешал. Вы греете кристал своего никеля или платины и графен образуется на поверхности, так что его приходилось потом удалять. А сейчас люди точно таким же образом пытаются его получать! [37, 38]

Как только мы стали изучать графен, мы поняли, что он уникален. Физики подчеркивают тот факт, что он ведет себя как релятивистская электронная система. Я пытаюсь провести какие-то параллели. Это все очень просто, но как правило, осложнено аргументами типа того, что эта особенность связана с сохранением псевдоспина, что электроны не подвергаются обратному рассеянию. Химикам это понять легко - есть π и π^* состояния, которые ортогональны, и потому не взаимодействуют. Дисперсия линейна, опять таки именно потому что состояния ортогональны, так что нет избегаемого пересечения. Чтобы демистифицировать эти идеи я выразил свой взгляд на страницах Nano Letters [39].

В результате в вашем распоряжении особые свойства графена, которые происходят от структуры, а также свойства которые появились из-за сильных ковалентных связей. Итогом этих двух вкладов являются очень высокая жесткость, частота оптического фонона 1600 см^{-1} . Для кремния или GaAs

эта частота составляет 500 и 300 см⁻¹ соответственно. Первое следствие - электроны не рассеиваются оптическими фононами. Второе - электроны имеют нулевую массу покоя и очень высокое ускорение Ферми. Добавьте к этому симметричную зонную структуру и вот вам выдающиеся транспортные характеристики.

Если вы надеетесь получить сверхбыстрый электрический транспорта, то это материал для вас [39-41]. Как правило, длина свободного пробега электронов составляет несколько сотен нанометров. Все эти годы, люди пытались достичь баллистического режима в кремнии, но этого не произошло. В графене это реально.

Даже при относительно скромной подвижности, мы получили 100 ГГц при размере элемента в 250 нм [40]. С кремнием сейчас можно дойти до элемента размером в 22 нм. Но, при 250 нм, на кремнии можно получить только до 40 ГГц. Если начать масштабирование, то, надеюсь, с графеном можно пойти еще выше. Это еще не значит, что это все просто. Возникает множество вопросов. Одним из них является проблема контактов. Мы должны выяснить, почему сейчас у нас есть контакты, которые могут доходить до 200 Ω -микрометра. В литературе встречаешь кило Ω . Мы пытаемся в этом разобраться и уменьшить сопротивление. Думаем, что знаем как это сделать. Есть и другие проблемы, нагрузка и так далее. В принципе, в конце концов вы будете ограничены по RC, но я думаю, терагерц по частоте достигим.

Другим преимуществом графена является то, что нам не нужна молекулярно лучевая эпитаксия и дорогие реактивы - графен это же углерод! За счет этого мы можем позволить себе использовать дорогие подложки, чтобы растить графен, например карбид кремния [42], но в будущем так быть не должно. Существует множество путей получения графена. Графен это стабильная форма углерода и, в конечном счете, почти все превращается в графен. Проблема в нахождении оптимальных условий для контроля роста, устранения дефектов, и так далее.

Графену не обязательно быть монослоем. Еще одна деталь - его физические свойства меняются при переходе от одного слоя к двум и далее к трем [43]. С точки зрения устройств, свойства двух- и даже трехслойного графена достаточно хороши для определенных применений.

Чего у графена нет, так это запрещенной зоны. Но опять же, нам удалось их открыть. Мы добрались до 150 мэВ. Этого не достаточно для цифровых устройств, но сгодится для множества вещей, например, в фотонике. И мы знаем как этого добиться, потому что причина отсутствия запрещенной зоны у графена в том, что в элементарной ячейке только два атома которые ведут себя одинаково и обладают одним и тем же потенциалом. Но если у вас два слоя, то атомов в ячейке уже четыре, и есть разные слои. Если их поляризовать, вынудить перенос заряда между двумя слоями, тогда становится возможным раскрыть запрещенную зону (Рисунок 2), что мы, собственно, и сделали [44].

Еще есть трудности с нахождением правильного диэлектрика. В этих устройствах самой трудной проблемой является именно диэлектрик. Графен и нанотрубки имеют π системы, которые полностью обнажены. Если вы замуруете их в диэлектрик, то будет взаимодействие. Во-первых, не так просто этот диэлектрик нанести, он не клеится, так что однородных слоев не получить. И во-вторых, если он клеится, то взаимодействует с π системой и перестает работать. То есть вы оказываетесь в щекотливой ситуации - нанести диэлектрика не много, но достаточно. Это очень тонкая технология. Для ее реализации мы используем осаждение атомных слоев (ALD, atomic layer deposition) и предварительные обработки, чтобы ввести слои которые загрузят поверхность, но не будут мешать. Весь этот процесс должен быть еще отработан [46].

В IBM, при поддержке от DARPA, мы разрабатываем высокочастотную электронику, что может быть также направлено на решения множества других задач. Уже существует спрос на прозрачные и проводящие окна, заменители для сенсорных экранов - те приложения которые не накладывают серьезных ограничений. Другими словами, не требуют всей той точности над которой мы работаем. Думаю, вы увидите развитие приложений и рынков. Уже есть несколько компаний которые, кажется, очень серьезно настроены на выпуск продуктов в ближайшем будущем.

Пол Вейсс: Ты обмолвился о трудностях с созданием пассивных элементов.

Фаэдон Авурис: Да, на данный момент, если вы используете графен как подложку, то необходимо разработать технологию нанесения пассивных элементов. Это не кремний, к графену ничего не прицепить, иначе нарушите ти связи.

Еще мы занимаемся изучением температурных режимов, что представляет собой серьезную проблему. В коммерческих устройствах, тепло, производимое пропусканием тока, рассеивается благодаря фононам. Кремний связан с оксидом и тепло перемещается с одного типа связи на другой. Но в графене, нанотрубках и молекулах нет ковалентных связей, а есть Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия и большие дистанции. Ван-дер-Ваальсовы фононы низкочастотны, так что отсутствует возможность эффективно преобразовать один "большой" фонон во множество маленьких. Выходит что устройства из молекул, графена и нанотрубок нагреваются, что и ограничивает их производительность. Необходимо найти пути отвода энергии, чем мы сейчас и занимаемся. То что мы обнаружили в эксперименте на самом деле гораздо лучше, чем можно было ожидать. Мы занимаемся изучением нетрадиционных механизмов транспорта тепла, например, через взаимодействие с фононами-поляритонами поверхности [47]. Этот подход не нов и уже обсуждался в прошлом, в другом контексте. Например, как теряет энергию электрон, если он быстро приближается к поверхности. Джерри Махан это обсуждал [48]. Электрон не проходит сквозь поле устройства, из-за толщины самого устройства. Поля, образованные на полярных поверхностях, затухают экспоненциально, по направлению от поверхности. Но графен, нанотрубки, молекулы - они сама поверхность. Они взаимодействуют с этими полями и рассеивают энергию. Ну что тут сказать об актуальности наших работ в этом направлении. В результате может получиться улучшенный способ диссипации тепла. Контроль тепла на наноуровне - еще одна область, где нам есть чему научиться. Применения могут быть самыми широкими - в сенсорах, биомолекулярных устройствах и, конечно, в электронике.

ПВ: В последнее время ты достиг успехов в быстрых широкополосных фотодетекторах на основе графена. Можешь рассказать поподробнее?

ФА: Те же причины по которым графен идеален для быстрых устройств, делают его оптимальным для фотоники. Графен очень хорошо поглощает свет. Мы говорим, что он прозрачен, но на самом деле, если подумать, то один атомный слой графена поглощает 2,3% падающего излучения любой длины волны, с практически постоянной эффективностью. Этот материал уникален. Чтобы получить такие характеристики на материалах используемых в фотонике, например InGaAs, то, если я правильно помню, для 2% поглощения требуется около 200-ангстрем толщины.

Графен - это сильно взаимодействующая система для света, в которой быстро движутся носители. В принципе, электроны и дырки очень подвижны, в отличие от III-V материалов. Ключевая проблема здесь та, что графен, будучи полуметаллом, обладает очень быстрой рекомбинацией носителей. Действительно, мы не видим люминесценции в графене. Если возбуждать основной объем графена, то ничего не происходит. Если приложить потенциал, то виден фототок, но на фоне огромного темнового тока. Эти наблюдения лишили людей мотивации изучать фотонику графена. Исследуя контакты, мы заметили, что можем генерировать фототок используя SNOM (scanning near-field optical microscopy), если мы возбуждаем вблизи контактов [39]. Это происходит потому, что пара электрон-дырка разделены электрическим полем изгиба зон. Такое явление мы можем использовать для фототока и фотодетекции. Кроме того, мы получили очень быстрый фотоотклик, такой же быстрый, как и любая измерительная система у нас здесь, в IBM.

ПВ: Каковы пределы?

ФА: Одно из ограничений - необходимость возбуждения только одного контакта, скажем, близкого к контакту источника (source) [49]. Потому что если возбуждать контакт близкий к стоку (drain), то возникшее электрическое поле будет противоположным. Теперь, если осветить все устройство, то чистого фототока не получить вообще. Таким образом имеем ограничительное условие. Конечно, вы можете замаскировать один из контактов, но для нас это не решение. Мы

также хотим повысить эффективность, для чего необходимо увеличить площадь устройства. Недавно мы тестировали другой подход (Рисунок 3). Используя гребенчатые электроды (interdigitated electrodes) изготовленные из двух различных металлов - один метал с высокой, а другой с низкой работой выхода (например, титан и палладий) - можно добиться асимметричного изгиба зон. То есть, создать наклонный профиль потенциала между контактами. Это очень хорошо работает. В результате мы увеличили выходной сигнал на 1300% и смогли производить и детектировать оптические потоки данных. Максимум, который мы смогли достичь - десять гигабит в секунду [50].

ПВ: Можешь что-нибудь рассказать о разделении нанотрубок?

ФА: Мы уже видели множество достижений в области разделения нанотрубок. Я над этим работаю вместе с Марком Херсамом. Мы используем его нанотрубки [51], и разделяем их не по хиральности, а по типу (электронной структуры - прим. пер.) [52-54].

Некоторые нанотрубки мы используем для измерений на высокой частоте. И чтобы сделать гибкую высокочастотную электронику мы изготавливаем массивы нанотрубок. Я очень рад тем 99+% контролю, которых достиг в этом направлении Марк. Но это еще не оптимальное решение. Для изготовления высокотехнологичных устройств требуются нанотрубки которые идентичны друг другу, и это стало бы огромным шагом вперед. Я слышал, что имеются разные методы разделения, которые также дают очень хорошие результаты. Они конечно придают стимул, но не уверен, что на их основе будет легко создать целую технологию. Во-первых, низкий выход. Во-вторых, нанотрубки и графен не растворимы. Чтобы их растворить необходимо использовать добавки, которые потом очень трудно удалить, и можно надолго со всем этим застрять.

Я не могу предсказать, что случится в будущем, но пока решения этой проблемы нет и, думаю, люди это понимают. В настоящее время эксперименты становятся все сложнее и сложнее, и мы все ближе и ближе к работе с четко охарактеризованными системами, но это еще далеко не технология.

ПВ: Возможно ли предсказать, как далеко зайдут технологии в будущем, чтобы сравнить их с нашими текущими исследованиями и вовремя сменить курс?

ФА: Прикинуть куда пойдет технология? Мы не знаем! Мы создаем базу знаний, чтобы люди заимствовали оттуда и развивали уже свои идеи о том, что будет необходимо в будущем. Мы не можем предсказать, что нам понадобится. Например, несколько лет назад у нас не было мыслей о необходимости фотоэлектрической энергии или зеленой химии.

Наши потребности, или предполагаемые потребности, развиваются как функция времени. Кто знал, что транзистор, который предназначался для слуховых аппаратов и телефонов, найдет все свои нынешние применения? Вы не работаете над чем-то ради решения конкретной проблемы, вы занимаетесь этим, чтобы понять потенциал. У вас есть определенные идеи и, если вы работаете в ИВМ, пытаетесь использовать их в электронике. Но эти же идеи могут найти применение в других областях, как знать.

ПВ: Есть ли в ИВМ возможность заниматься чем-то другим кроме электроники?

ФА: Не знаю, будет ли ИВМ интересен выпуск какого-то конкретного продукта. ИВМ также может продать интеллектуальную собственность другой заинтересованной компании.

ПВ: Расскажи об эволюции твоих усилий в науке?

ФА: Работа сильно изменилась с того времени, когда у вас была маленькая лаборатория и вы работали с одним инструментом, скажем, СТМ, куда помещали образец и меряли зависимость одного параметра от другого и третьего, от температуры, поля и так далее. Сейчас, по крайней мере в моей области, все стало намного сложнее. Оборудование рассеяно повсюду и изготовление

образца составляет 99% всей работы. Используются всевозможные техники нанесения и точного расположения, разные виды электрических схем и анализа, высокочастотные измерения - все это распределено по различным лабораториям, официально принадлежащим разным людям. Когда ты это показываешь, описание 99% всех усилий укладывается всего в несколько строк статьи.

Дальше вы идете и проводите измерение, готовите несколько графиков и долгое время пытаетесь понять, что они означают. Распределение усилий в наши дни сильно отличается от работы в прошлом, когда был только один человек, одна комната, и, как правило, одна единица оборудования. "Старый" стиль работы требует больше времени и намного больших усилий чтобы достичь цели. Думаю, небольшим группам в небольших местах очень трудно вносить существенный вклад, который бы имел какие-то последствия. По этой причине вы наблюдаете появление междисциплинарных центров и сотрудничества крупных исследовательских групп в университетах. Делать науку в маленьком масштабе становится все трудней и трудней. Она не пропала, нет, и может быть успешной, если люди изобретательны, но стало тяжелее работать и находить поддержку.

ПВ: Как со временем изменилась корпоративная и промышленная наука?

ФА: И тут все меняется, как и везде. Думаю, с точки зрения исследований в промышленности, стало понятно, что невозможно охватить все, поэтому мы стали больше зависеть от вклада университетов. Меня беспокоит одна вещь. Люди в университетах не знают многого о технологиях. В прошлом, Bell Labs, IBM и некоторые другие компании выпускали, сеяли так сказать, новых исследователей для академии, исследователей которые представляли требования и границы технологий. Сейчас эти люди стареют и выходят на пенсию. Если промышленные исследования приостановятся, я боюсь, мы потеряем что-то важное.

ПВ: Почему тебе нравится нанонаука?

ФА: Нанонаука является смесью всего. Независимо от того, где ты в ней находишься, ты должен знать химию, физику, электронику, электротехнику или биологию.

Прежде всего меня мотивирует изучение новых вещей. Это требует, чтобы я разбирался во многих научных областях и, думаю, это захватывающе! От этого выигрывают все дисциплины, поскольку нанонаука, привнося общие методы исследований (литография, различные способы визуализации), соединяет физику, химию, инженерное дело, медицину, биологию, что угодно, позволяя совместить общее и обменяться идеями из разных областей [55].

Физика предоставляет новые принципы, наука о материалах и химия - новые материалы и системы, другие области привносят архитектуру. Вкупе это приумножает. Нанонаука предлагает по-новому взглянуть на науку как на нечто единое целое, не разобщенное, без барьеров и строгого разделения на области. Надеюсь, подобные проекты продолжатся. Мы имеем прообраз, как в старые времена, когда были ученые, которые знали все. Люди меня спрашивают - что мне делать, где учиться на специалиста в нанонауке? - Читайте свои книжки по физике, химии, все остальные и, будьте уверены, что вы сосредоточены на изучении основ. Старайтесь понимать.

Вот это мне и нравится в нанонауке, помимо перспективы новых продуктов. Последние тоже появятся. Из-за того, что мы столько всего наобещали, мы, вероятно, отстаем с выпуском продукции. Тут есть опасность - мы должны следить за шумихой вокруг. Возможно, такая шумиха возникла не по вине ученых, а от журналистов и тому подобному, но это ранит. В результате люди ждут чудес, а чудеса не происходят. Готовая технология не за углом, на ее развитие уходит очень много времени.

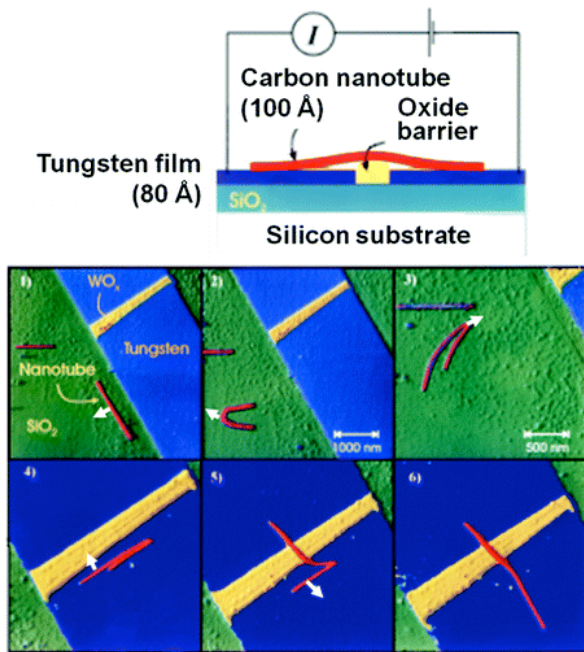


Рисунок 1. Схема устройства для измерения тока протекающего через углеродную нанотрубку (вверху). Манипуляция индивидуальной нанотрубки иглой АСМ (нижняя последовательность изображений). Перемещение трубки на оксида кремния и ее последующее размещение через барьер изготовленный из вольфрама, окисленного при помощи АФМ.

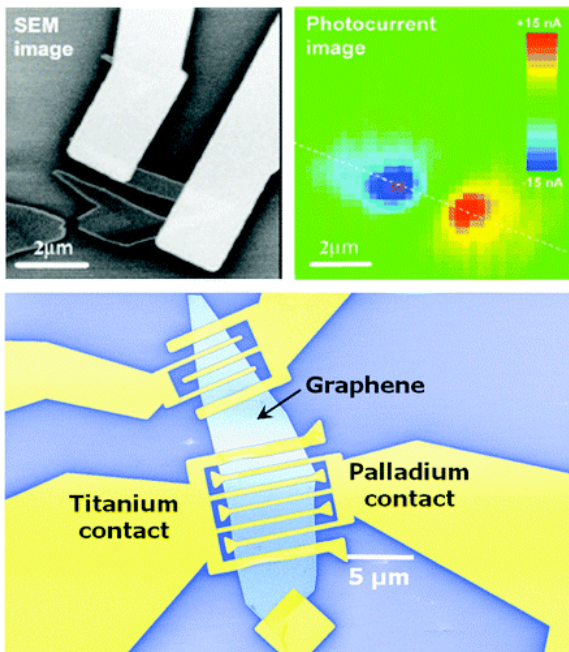


Рисунок 3. Фотовозбуждение различных участков на графене с контактами из Pd производит токи противоположных знаков (иллюстрация справа вверху) [49]. СЭМ фотография устройства из штыревых электродов на графене, в котором контакты из различных металлов создают боковое электрическое поле

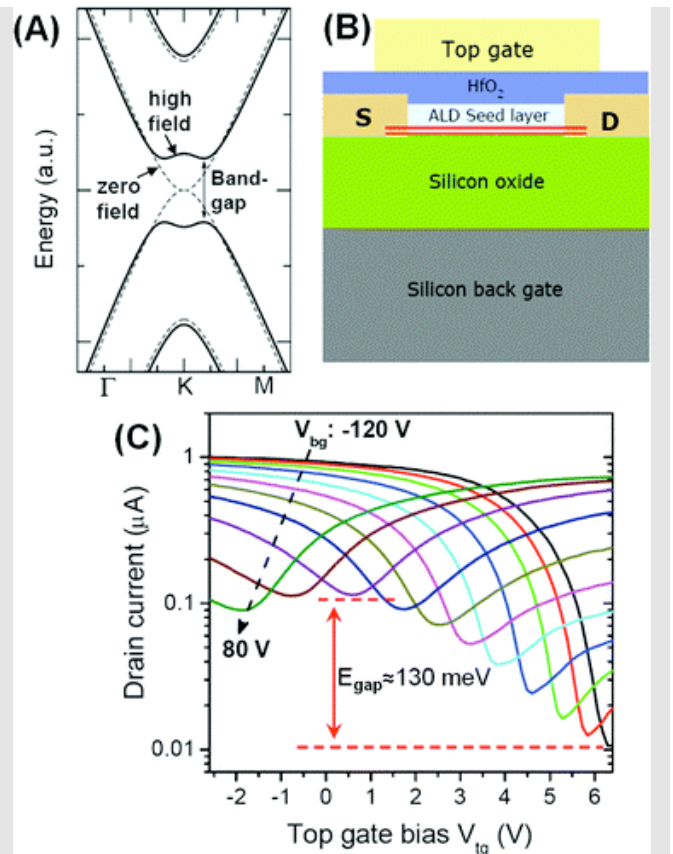


Рисунок 2. Зонная структура двуслойного графена (а) при нулевом электрическом поле и высоком перпендикулярном поле. Схема двухзатворного транзистора (б) использованного для измерений. Зависимость тока стока от напряжения на верхнем затворе для различных (-120 до +80V) напряжений на нижнем затворе. По материалам работ [44, 45].

ССЫЛКИ:

1. Avouris, Ph.; Champion, A.; El-Sayed, M. A. Variations in Homogeneous Fluorescence Linewidth and Electron-Phonon Coupling within an Inhomogeneous Spectral Profile *J. Chem. Phys.* 1977, 67, 3397–3398;
2. Avouris, Ph.; Hopewell, W. D.; El-Sayed, M. A. Energy-Dependence of Nonradiative Electronic Relaxation in Camphorquinone Vapor *J. Chem. Phys.* 1977, 66, 1376–1377;
3. Avouris, Ph.; Gelbart, W. M.; El-Sayed, M. A. Nonradiative Electronic Relaxation under Collision-free Conditions *Chem. Rev.* 1977, 77, 793–833;
4. Avouris, Ph.; Champion, A.; El-Sayed, M. A. Luminescence and Intersystem Crossing Processes in Camphor–Quinone Crystals *Chem. Phys.* 1977, 19, 147–154;
5. Avouris, Ph.; Champion, A.; El-Sayed, M. A. Phonon Assisted Site-to-Site Electronic Energy Transfer between Eu^{3+} Ions in an Amorphous Solid *Chem. Phys. Lett.* 1977, 50, 9–13;
6. Demuth, J. E.; Schmeisser, D.; Avouris, Ph. Resonance Scattering of Electrons from N_2 , CO , O_2 , and H_2 Adsorbed on a Silver Surface *Phys. Rev. Lett.* 1981, 47, 1166–1169;
7. Demuth, J. E.; Avouris, Ph. Lifetime Broadening of Excited Pyrazine Adsorbed on $\text{Ag}(111)$ *Phys. Rev. Lett.* 1981, 61–63;
8. Avouris, Ph.; Demuth, J. E. Vibrational Overtone Spectroscopy of Benzene and Pyridine on $\text{Ag}(111)$ *J. Chem. Phys.* 1981, 75, 5953–5954;
9. Schmeisser, D.; Demuth, J. E.; Avouris, Ph. Electron-Energy-Loss Studies of Physisorbed O_2 and N_2 on Ag and Cu Surfaces *Phys. Rev. B* 1982, 26, 4857–4863;
10. Avouris, Ph.; Schmeisser, D.; Demuth, J. E. Observation of Rotational Excitations of H_2 Adsorbed on Ag Surfaces *Phys. Rev. Lett.* 1982, 48, 199–202;
11. Schmeisser, D.; Demuth, J. E.; Avouris, Ph. Metal-Molecule Charge-Transfer Excitations on Silver Films *Chem. Phys. Lett.* 1982, 87, 324–326;
12. Demuth, J. E.; Avouris, Ph. Surface Spectroscopy *Phys. Today* 1983, 36, 62–68;
13. Avouris, Ph.; Demuth, J. E.; Dinardo, N. J. Excited-States of Physisorbed and Chemisorbed Adsorbates and Their Decay Mechanisms *J. Vac. Sci. Technol. A* 1984, 2, 1050–1051;
14. Avouris, Ph.; Demuth, J. E. Electron-Energy Loss Spectroscopy in the Study of Surfaces *Annu. Rev. Phys. Chem.* 1984, 35, 49–73;
15. Avouris, Ph.; Demuth, J. E. Valence and Core Excitations of Adsorbates on Metal-Surfaces *Surf. Sci.* 1985, 187, 21–39;
16. Hertel, T.; Martel, R.; Avouris, Ph. Manipulation of Individual Carbon Nanotubes and Their Interaction with Surfaces *J. Phys. Chem. B* 1998, 102, 910–915;
17. Hertel, T.; Walkup, R. E.; Avouris, Ph. Deformation of Carbon Nanotubes by Surface van der Waals Forces *Phys. Rev. B* 1998, 58, 13870–13873;
18. Avouris, Ph.; Hertel, T.; Martel, R.; Schmidt, T.; Shea, H. R.; Walkup, R. E. Carbon Nanotubes: Nanomechanics, Manipulation, and Electronic Devices *Appl. Surf. Sci.* 1999, 141, 201–209;
19. Lyo, I. W.; Avouris, Ph. Field-Induced Nanometer-Scale to Atomic-Scale Manipulation of Silicon Surfaces with the STM *Science* 1991, 253, 173–176;
20. Avouris, Ph.; Hertel, T.; Martel, R. Atomic Force Microscope Tip-Induced Local Oxidation of Silicon: Kinetics, Mechanism, and Nanofabrication *Appl. Phys. Lett.* 1997, 71, 285–287;
21. Tans, S. J.; Devoret, M. H.; Dai, H. J.; Thess, A.; Smalley, R. E.; Geerligs, L. J.; Dekker, C. Individual Single-Wall Carbon Nanotubes and Quantum Wires *Nature* 1997, 386, 474–477;
22. Tans, S. J.; Verschueren, A. R. M.; Dekker, C. Room-Temperature Transistor Based on a Single Carbon Nanotube *Nature* 1998, 393, 49–52;
23. Martel, R.; Schmidt, T.; Shea, H. R.; Hertel, T.; Avouris, Ph. Single- and Multiwall Carbon Nanotube Field-Effect Transistors *Appl. Phys. Lett.* 1998, 73, 2447–2449;
24. Collins, P. G.; Avouris, Ph. Nanotubes for Electronics *Sci. Am.* 2000, 283, 62–69;
25. Avouris, Ph. Molecular Electronics with Carbon Nanotubes *Acc. Chem. Res.* 2002, 35, 1026–1034;
26. Avouris, Ph.; Martel, R. Progress in Carbon Nanotube Electronics and Photonics *MRS Bull.* 2010, 35, 306–313;
27. Rochefort, A.; Avouris, Ph.; Lesage, F.; Salahub, D. R. Electrical and Mechanical Properties of Distorted Carbon Nanotubes *Phys. Rev. B* 1999, 60, 13824–13830;

28. Freitag, M.; Martin, Y.; Misewich, J. A.; Martel, R.; Avouris, Ph. Photoconductivity of Single Carbon Nanotubes *Nano Lett.* 2003, 3, 1067– 1071;
29. Derycke, V.; Martel, R.; Appenzeller, J.; Avouris, Ph. Carbon Nanotube Inter- and Intramolecular Logic Gates *Nano Lett.* 2001, 1, 453– 456;
30. Chen, Z. H.; Appenzeller, J.; Lin, Y. M.; Sippel-Oakley, J.; Rinzler, A. G.; Tang, J. Y.; Wind, S. J.; Solomon, P. M.; Avouris, Ph. An Integrated Logic Circuit Assembled on a Single Carbon Nanotube *Science* 2006, 311, 1735;
31. Misewich, J. A.; Martel, R.; Avouris, Ph.; Tsang, J. C.; Heinze, S.; Tersoff, J. Electrically Induced Optical Emission from a Carbon Nanotube FET *Science* 2003, 300, 783– 786;
32. Freitag, M.; Perebeinos, V.; Chen, J.; Stein, A.; Tsang, J. C.; Misewich, J. A.; Martel, R.; Avouris, Ph. Hot Carrier Electroluminescence from a Single Carbon Nanotube *Nano Lett.* 2004, 4, 1063– 1066;
33. Perebeinos, V.; Tersoff, J.; Avouris, Ph. Radiative Lifetime of Excitons in Carbon Nanotubes *Nano Lett.* 2005, 5, 2495– 2499;
34. Freitag, M.; Steiner, M.; Naumov, A.; Small, J. P.; Bol, A. A.; Perebeinos, V.; Avouris, Ph. Carbon Nanotube Photo- and Electroluminescence in Longitudinal Electric Fields *ACS Nano* 2009, 3, 3744– 3748;
35. Wise, K. D. Microelectronics in the “More than Moore” Era. Plenary Presentation at the Device Research Conference, South Bend, IN, June 21–23, 2010.
36. Dresselhaus, M. S.; Arajo, P. T. Perspectives on the 2010 Nobel Prize in Physics for Graphene *ACS Nano* 2010, 4, 6297– 6302;
37. Land, T. A.; Michely, T.; Behm, R. J.; Hemminger, J. C.; Comsa, G. STM Investigation of Single Layer Graphite Structures Produced on Pt(111) by Hydrocarbon Decomposition *Surf. Sci.* 1992, 264, 261– 270;
38. Sutter, P. W.; Flege, J.-I.; Sutter, E. A. Epitaxial Graphene on Ruthenium *Nat. Mater.* 2008, 7, 406– 411;
39. Avouris, Ph. Graphene: Electronic and Photonic Properties and Devices *Nano Lett.* 2010, 10, 4285– 4294;
40. Lin, Y.-M.; Dimitrakopoulos, C.; Jenkins, K. A.; Farmer, D. B.; Chiu, H.-Y.; Grill, A. Avouris, Ph. 100-GHz Transistors from Wafer-Scale Epitaxial Graphene *Science* 2010, 327, 662;
41. Perebeinos, V.; Avouris, Ph. Inelastic Scattering and Current Saturation in Graphene *Phys. Rev. B* 2010, 81, 195442;
42. Berger, C.; Song, Z. M.; Li, T. B.; Li, X. B.; Ogbazghi, A. Y.; Feng, R.; Dai, Z. T.; Marchenkov, A. N.; Conrad, E. H.; First, P. N. ; et al. Ultrathin Epitaxial Graphite: 2D Electron Gas Properties and a Route toward Graphene-Based Nanoelectronics *J. Phys. Chem. B* 2004, 108, 19912– 19916;
43. Zhu, W. J.; Perebeinos, V.; Freitag, M.; Avouris, Ph. Carrier Scattering, Mobilities, and Electrostatic Potential in Monolayer, Bilayer, and Trilayer Graphene *Phys. Rev. B* 2009, 80, 235402;
44. Zhu, W. J.; Neumayer, D.; Perebeinos, V.; Avouris, Ph. Silicon Nitride Gate Dielectrics and Band Gap Engineering in Graphene Layers *Nano Lett.* 2010, 10, 3572– 3576;
45. Xia, F.; Farmer, D.; Lin, Y.-M.; Avouris, Ph. Graphene Field-Effect-Transistors with High On/Off Current Ratio *Nano Lett.* 2010, 10, 715– 718;
46. Farmer, D. B.; Chiu, H. Y.; Lin, Y. M.; Jenkins, K. A.; Xia, F. N.; Avouris, Ph. Utilization of a Buffered Dielectric to Achieve High Field-Effect Carrier Mobility in Graphene Transistors *Nano Lett.* 2009, 9, 4474– 4478;
47. Rotkin, S. V.; Perebeinos, V.; Petrov, A. G.; Avouris, Ph. An Essential Mechanism of Heat Dissipation in Carbon Nanotube Electronics *Nano Lett.* 2009, 9, 1850– 1855;
48. Mahan, G. D. Theory of Surface Polaritons and Image Potentials in Polar Crystals *Phys. Rev. B* 2010, 81, 195318;
49. Mueller, T.; Xia, F.; Freitag, M.; Tsang, J. C.; Avouris, Ph. Role of Contacts in Graphene Transistors: A Scanning Photocurrent Study *Phys. Rev. B* 2009, 79, 245430;
50. Mueller, T.; Xia, F. N. A.; Avouris, Ph. Graphene Photodetectors for High-Speed Optical Communications *Nat. Photonics* 2010, 4, 297– 301;
51. Engel, M.; Small, J. P.; Steiner, M.; Freitag, M.; Green, A. A.; Hersam, M. C.; Avouris, Ph. Thin Film Nanotube Transistors Based on Self-Assembled, Aligned, Semiconducting Carbon Nanotube Arrays *ACS Nano* 2008, 2, 2445– 2452;

52. Arnold, M. S.; Suntivich, J.; Stupp, S. I.; Hersam, M. C. Hydrodynamic Characterization of Surfactant Encapsulated Carbon Nanotubes Using an Analytical Ultracentrifuge ACS Nano 2008, 2, 2291– 2300;
53. Kalbac, M.; Green, A. A.; Hersam, M. C.; Kavan, L. Tuning of Sorted Double-Walled Carbon Nanotubes by Electrochemical Charging ACS Nano 2010, 4, 459– 469;
54. Antaris, A. L.; Seo, J.-W. T.; Green, A. A.; Hersam, M. C. Sorting Single-Walled Carbon Nanotubes by Electronic Type Using Nonionic, Biocompatible Block Copolymers ACS Nano 2010, 4, 4725– 4732;
55. Buriak, J. M. A Quiet Revolution ACS Nano 2009, 3, 3335– 3336;

Второе пришествие химии в образе "нано"...

Е.А.Гудилин

Е.А.Гудилин – чл.-корр. РАН, д.х.н., профессор, заместитель декана ФНМ МГУ



Дать вторую жизнь химии и другим естественным наукам в школе, возможно, даже ввести познавательные элементы междисциплинарного образования трудно, если вообще возможно, но... нужно. А чего терять, если и так все ... не лучше, чем раньше когда - то было...

Программа - максимум элективного (факультативного или какого другого пока необязательного...) курса «Познавательная химия и нанохимия элементов периодической системы Д.И.Менделеева».

Предлагаемый курс в рамках общеобразовательной программы дает школьникам 9-11 классов дополнительные (избранные) главы в области неорганической химии – химии элементов и их практического использования в современной науке и технике.

Задача курса - за относительно короткий срок заинтересовать школьников и пополнить возможный пробел школьных знаний современным состоянием развития наиболее продуктивных идей, которые составили основу науки о материалах, показать как эти идеи воплощаются в жизнь и что от них можно ожидать в будущем.

Предполагается, что курс лекций, в основном, будет прочитан аспирантами под руководством преподавателей в форме научно – популярных лекций, семинаров, решения простых задач, организации проектной деятельности школьников.

На отдельных лекциях планируется демонстрация образцов современных материалов и простых демонстрационных экспериментов, чаще всего не требующих дорогих реактивов или специальных мер техники безопасности.

Дополнительно в рамках курса предлагаются темы проектных исследовательских работ школьников с акцентом на методы получения и свойства материалов и наноматериалов, многие из которых требуют самого минимального использования сложного университетского оборудования. Таким образом, такие работы могут быть выполнены школьником самостоятельно под руководством школьного учителя и при консультационной поддержке аспиранта или преподавателя. Участие школьников в проекте может заключаться в литературном поиске и написании реферата, экспериментальной синтетической и аналитической работе, представлении работы на научно – исследовательских конференциях школьников, Фестивале науки, выставках. Роль консультанта со стороны, например, ФНМ МГУ в проекте связана с формулировкой темы, выбором специальной литературы для ознакомления, доступом к базам данных через сервер МГУ, обеспечением отдельными реактивами и единичными измерениями свойств, структуры и микроструктуры образцов, так чтобы личный вклад школьника в проект оставался максимальным, равно как знания

и навыки, полученные в ходе выполнения проекта. Все проектные работы разбиты по тематикам лекций и имеют к ним прямое отношение

Введение.

Основные понятия. Модели образования молекул из атомов. Ионная, ковалентная и металлическая связь. Водородная связь. Ван-дер-Вальсовы и дисперсионные взаимодействия. Супрамолекулярные соединения как мост между живой и неживой природой. Белки. Быть или не быть нанороботам.

Вещества и материалы. Материалы-рекордсмены. Наука о материалах. Принципы создания материалов. Методы синтеза и методы анализа.

Дополнительно: экскурсия по центру коллективного пользования с показом лабораторий и образцов материалов, полученных студентами и аспирантами (с краткими пояснениями)

Водород (в двух или более частях)

Водород как элемент. Атом водорода и водородная лампа. Водород в природе. Вода и легенды вокруг нее. Тяжелый и сверхтяжелый водород, изотопы.

Производство водорода. Мембранные технологии получения сверхчистого водорода. Гидриды как аккумуляторы водорода. Водородная энергетика. Водородная коррозия. Гремучий газ и цепные реакции. Водород в момент выделения как восстановитель.

Диаграмма состояния воды. Почему скользят коньки. "Горячий" лед. Структура "обычного" льда. Лед, Газпром и клатраты метана. Водородная связь.

Вода как суперрастворитель. Способы выражения концентрации в науке и технике. Гидротермальный метод синтеза. Кофе и криохимическая технология. Ингалятор и пиролиз аэрозолей.

Смачивание, супергидрофобные и супергидрофильные покрытия. Эффект лотоса. Микрофлюидика, жидкостной компьютер и другие устройства.

Протон и протонные проводники. Ион гидроксония. Кислоты и основания. Ингибирование коррозии, «силит» и другие чистящие средства. Топливные элементы.

Перекись водорода. Отбеливание волос, подводная лодка «Курск». Перекисные соединения, шоковые гранаты.

Опыты: водородная лампа, гидратация обезвоженного медного купороса, выделение водорода из кислоты и водород в момент выделения как восстановитель (на примере ярко окрашенных растворов солей переходных металлов), электролиз воды, «комарик», каталитическое разложение пергидроля, отбеливание тканей, вспышка с пероксидом бария (необходим устрашающий инструктаж по технике безопасности).

Темы проектных работ: индикаторы на влажность, получение клатратов – «наноклеточных соединений» («соединений без химической связи») на основе льда, мочевины, крахмала и пр., получение наноматериалов с помощью гидротермального синтеза, эбуллиоскопия (истинные, коллоидные растворы и растворы белков), создание модели топливного элемента, поверхности с эффектом лотоса, получение и свойства хингидрона, криосушка продуктов и зольей, создание школьной установки по получению наноматериалов методом пиролиза аэрозолей (с самодельной печью), паровая машина на перекиси водорода (быстрое каталитическое разложение наночастицами оксидов переходных металлов), (окрашенные) перекисные соединения и их роль в получении дисперсных частиц оксидов и гидроксидов, изготовление чистящего средства.

Литий и щелочные металлы

Литий как элемент. Литий в природе. Горение лития, нитриды. Устройство литий – ионных аккумуляторов. Катод, анод, мембрана, электролит. Дисперсоиды. Литий – серные аккумуляторы. Структура литий – проводящих твердых электролитов, LiFePO_4 и пр. Ниобаты лития, сегнетоэлектрики и голографическая запись информации. Биохимическая роль лития. Расследование физика Вуда.

Опыты: центры окраски во фториде лития, реакция щелочных металлов с водой в присутствии фенолфталеина, окраска пламени солями щелочных металлов, осаждение нерастворимых солей лития, минералы лития.

Темы проектных работ: разборка – сборка и изготовление литий – ионного аккумулятора, получение и исследование интеркаляционных соединений лития, цветной фейерверк, получение дисперсоида.

Алюминий

Алюминий как элемент. Процесс получения алюминия. Алюминиевые сплавы, порошковая металлургия, композиты с углеродными нанотрубками (разработки Байер и пр.). Глины и СДГ как нанореакторы. Оксидные соединения алюминия: α - и γ - Al_2O_3 как основа создания каталитически активных систем. Полиалюминат натрия β - Al_2O_3 -суперионный проводник. Оптически прозрачный поликристаллический α - Al_2O_3 - "Кадор". Высокотемпературная керамика. Керамические ножницы. Рубиновый лазер, рубиновые подшипники. Пористый алюминий и наноккомпозиты. Гидроксид алюминия, коагулянты и очистка воды. LiAlH_4 и водородная энергетика.

Опыты: рубиновый сердечник лазера, диэлектрические подложки, тигли и керамика, устройство для обогрева рук на основе водного раствора медного купороса, алюмотермия, алюминиевые сплавы

Темы проектных работ: получение алюминиевых сплавов, анодирование алюминия, новогодний фейерверк, получение веществ с помощью алюмотермии, исследование твердости минералов по шкале Мооса, получение и свойства β - Al_2O_3 , исследование маалокса и смекты, рост нановолокон оксида – гидроксида алюминия из амальгамы алюминия, получение порошка рубина, получение люминесцентных гибридных материалов на основе слоистых двойных гидроксидов, изготовление глиняной посуды, очистка воды коагулянтами

Галлий, индий

Галлий и индий как элементы. ИТО. Отрицательная абсолютная температура. Лазерная указка. Схема RGB и белые светодиоды. Использование соединений Ga, In и Tl в современных материалах. Жидкие сплавы. Термометры. Гигантские галлиевые зеркала. Микроскопы с фокусированным ионным пучком и FIB – литография.

Опыты: жидкие сплавы, проводимость ИТО

Темы проектных работ: получение прозрачной проводящей керамики из электротехнических отходов, жидкий припой и намазывание контактов для электротехнических измерений, градуировка высокотемпературного термометра, изучение устройства белого светодиода

Титан

Титан как элемент. Ультрамелкозернистые сплавы. Титановые гвозди в хирургии – ортопедии. Сверхпрочные корпуса подводных лодок. Нитрид титана и золотые купола. Сплавы, обладающие эффектом памяти формы. Окраска Ti^{3+} и теория кристаллического поля. Дымовые завесы и

гидродиз тетраоксида титана. Диоксид титана и области его применения. Фотокатализ. Самоочищающиеся поверхности.

Электронная бумага и e-ридеры.

Опыты: нитинол, дымовая завеса из тетраоксида титана, пероксидные соединения титана

Темы проектных работ: получение нанотрубок на основе диоксида титана, фотодegradация отходов, солнечная батарея на TiO_2

Ванадий

Ванадий как элемент. Сплавы. Изополиванадаты. Жидкие кристаллы. Гибридные материалы. Наноструктуры на основе оксидов ванадия. Химические источники тока. Катализаторы и нанокатализаторы на основе оксидов ванадия.

Опыты: получение ксерогеля с использованием перекиси водорода, жидкие кристаллы между поляризатором и анализатором, химическая радуга с соединениями ванадия

Темы проектных работ: проводящие ксерогели оксида ванадия с полианилином, гидротермальный синтез нанотрубок и нанолент, катализаторы на основе наноструктур оксидов ванадия, аккумуляторы на основе наноструктур оксидов ванадия

Марганец

Марганец как элемент. Окислительно – восстановительные реакции. Минералы, каркасные и туннельные материалы на основе оксидов марганца. Темплатный эффект. Элемент Лекланше и "розовые зайчики" Дьюрасела. Октаэдрические молекулярные сита. Каталитическое использование ОМС в тонком органическом синтезе. Электрокатализ. Сорбенты радиоактивных отходов. Структура манганитов с колоссальным магнетосопротивлением. Спинтроника.

Опыты: химический хамелеон, реакции контрпропорционирования, горение спички, КМС – манганиты, катализ с использованием диоксида марганца (разложение перекиси водорода, расплава хлората калия и пр.)

Темы проектных работ: получение нанокристаллов и нанолент диоксида марганца, сборка и изучение характеристик щелочной батарейки с диоксидом марганца с разной предысторией получения, получение ферромагнитных КМС – манганитов, каталитические свойства диоксида марганца

Углерод

Углерод как элемент. Углерод как основа органической химии и жизни. Аллотропные модификации углерода: алмаз, графит, аморфный углерод. Фазовая диаграмма углерода. Эксперименты Муассана. Синтез искусственных алмазов. Детонационный синтез. Наноалмазы. Соединения внедрения в графит (СВГ-фазы). Пенографит. Термозащитная краска. Сорбенты на основе углерода. Очистка воды.

Фуллерены. Новые поколения материалов на основе фуллеренов. Карбин. Полиацетилен. Молекулярная электроника. Дендримеры.

Графен. Углеродные нанотрубки, структура, свойства, применения. Нанoeлектроника. Углерод и нобелевские премии.

Основные представления о композиционных соединениях. Углеродные "усы", волокна. Стеклоуглерод. Истребитель пятого поколения.

CO, CO₂, парниковый эффект.

Опыты: «черная змея» (сахар с серной кислотой), наноалмазы, углеродные нанотрубки (вспышка в кислороде), горение сероуглерода, сероуглерод как растворитель, визг «сухого льда»

Темы проектных работ: получение оксида графена и исследование свойств, сорбция красителей и вредных веществ активированным углем, серебрение активированного угля и изготовление собственного фильтра для очистки воды (с разборкой промышленных образцов), получение СВГ, гопкалит для противогаса, крем для обуви с сажой («нанокрем»)

Фтор

Фтор как элемент. Перфторуглероды. Озоновые дыры. Тушение пожаров. Горение воды («лисички взяли спички»). Соединения инертных газов. Искусственная кровь. Тефлон. Хладогенты и второй закон термодинамики (запрет вечных двигателей 1 и 2 рода). Плавиковая кислота. Летучие фториды для ОСИД.

Опыты: термолюминесценция природного флюорита, выпадение осадков нерастворимых фторидов, свойства тефлона (изоляционные, термостабильность, реакция порошка с металлическим литием)

Темы проектных работ: супергидрофобные покрытия с эффектом «лотоса», художественное травление стекол, приготовление собственной зубной пасты «с фтором»

Кремний

Кремний как элемент. Солнечный кремний. Фотолитография и микроэлектроника. Кремний как полупроводник. Легирование. Пористый кремний. Нанокристаллический кремний и фотодинамическая терапия.

Нитевидные кристаллы кремния и механизм их роста. Кантилевер. Волокна карбида кремния.

Стекла, получение, структура, свойства. Осаждение из паровой фазы и получение оптоволоконных материалов.

Цеолиты - молекулярные сита и катализаторы. Цементы и бетон, Огнеупоры.

Кремниевая кислота. Золь – гель процесс. Аэросил.

Амфифильные вещества, жидкие кристаллы. Мицеллярный темплат, жидкокристаллические матрицы для темплатного синтеза. Мезопористый диоксид кремния.

Фотонные кристаллы и фотоника. Частицы – янусы. Самосборка.

Капсулы для доставки лекарств.

Опыты: минералы (включая тальк, слюду, цеолит), стекловолокно, демонстрация фотонных кристаллов, гидролиз TEOS, аэрогель, синглетный кислород при лазерном облучении нанокристаллического кремния

Темы проектных работ: получение аэрогелей, получение «белой сажи», рост фотонных кристаллов под музыку Баха, окрашенные легкоплавкие стекла, рост кристалликов кремния при металлотермии во флюсе сульфида алюминия, получение волокон диоксида кремния по механизму ПЖК, рост кристаллов в среде геля кремниевой кислоты, получение силикагеля и его сорбционные свойства, разборка промышленных транзисторов и фотоэлементов

Олово и свинец

Олово и свинец как элементы. Оловянная чума, полиморфные превращения. Легкоплавкие сплавы. Водопровод древнего Рима. Наклеп «мягкого» свинца. Свинец для защиты от ионизирующих излучений.

Диоксид свинца и свинцовые аккумуляторы.

«Электронный нос» с диоксидом олова.

Сегнетоэлектрическая керамика. Цирконат – титанат свинца. Сегнетоэлектрические текстуры.

Опыты: золотой дождь, нитевидные кристаллы диоксида олова, рост лепестков свинца при восстановлении цинком водных солей

Темы проектных работ: выращивание нитевидных кристаллов диоксида олова и их сенсорные свойства, самодельный сенсор (на керамике), самодельный свинцовый аккумулятор, получение квантовых точек сульфида свинца, приготовление легкоплавких припоев

Сера, селен, теллур

Сера, селен, теллур как элементы. Полимеры / стекло из серы. Электреты. Сернистый газ. Серный ангидрид. Серная кислота, олеум. Пероксосульфат калия. Тиосульфат натрия, черно – белая фотография.

Вулканизация каучука. Серная печень, полисульфиды. Серный аккумулятор. Принцип работы ксерокса, аморфные полупроводники и фотоэффект.

Квантовые точки, синтез, свойства, применение.

Почему рыба пахнет рыбой?

Кластерные материалы. Фазы Шевреля.

Гидрофобные материалы.

Опыты: люминесценция квантовых точек CdSe, бомба – вонючка, серное молоко (разрушение тиосульфата натрия в кислой среде), горение черного пороха

Темы проектных работ: получение высокодисперсных сульфидов из «фиксажа», разработка составов для восстановления почерневшего столового серебра, сульфидные люминофоры, фазовые переходы серы, вулканизация каучуков, растворение серы в неводных растворителях и рост ее кристаллов, разборка старого барабана лазерного принтера, наночастицы серы из полисульфидов и тиосульфатов и их биологическая роль

Цинк, кадмий, ртуть

Ртуть, цинк и кадмий как элементы. Ртутная лампа. Амальгамы - сплавы или интерметаллиды. Применение амальгам в технике и в медицине. Плазма. Энергосберегающие лампы. Амальгама аммония. «Ртутное сердце». Ртутный насос. Основания Миллона. Термокраски. Ртутные электроды для измерения ВАХ отдельных молекул. Каломельный электрод. Экология, ртутное загрязнение, токсичность ртути и пути ее миграции в пищевой цепочке, демеркуризация.

Сверхпроводимость Камерлинг – Оннеса. "Химические" ртутные сверхпроводники.

Наноструктуры на основе оксида цинка. «Философская шерсть». Дефекты в оксиде цинка и квазихимические уравнения реакции. Свойства оксида цинка (люминесценция и пр.).

Зародышеобразование и получение квантовых точек на основе халькогенидов кадмия различной формы и размера.

Опыты: сульфид цинка с активаторами как люминофор, термокраски, амальгама натрия и аммония, наноструктуры оксида цинка, конъюгация квантовых точек, реакция амальгамы цинка с влажным воздухом

Темы проектных работ: получение квантовых точек, квантовая икра, фотонные конвертеры, получение наноструктурированного оксида цинка при термогидролизе, гальваническая защита от коррозии

РЗЭ

Семейство РЗЭ. Распространенность лантанидов и актинидов. История открытия. Проблема выделения элементов из различных типов сырья. ОСИД. Устройство плоского телевизора (ЖК и LED). Комплексные соединения и их окраска. Люминофоры. Лазеры. Цераты как протонные проводники, барьерные материалы и пр. ВТСП – керамика на основе РЗЭ – бариевых купратов, нанofлуктуации состава как центры пиннинга. Стратегическое использование РЗЭ в науке и технике.

Опыты: люминесценция соединений РЗЭ, мишметалл (зажигалки), постоянные (неодим – борный и самарий - кобальтовые) магниты, левитация ВТСП ПОД магнитом.

Темы проектных работ: свойства комплексов РЗЭ, получение нанокристаллического диоксида церия и его биологическая активность, получение и свойства РЗЭ – бариевых сверхпроводящих купратов

Медь, золото, серебро

Медь, золото, серебро. Бронзовый век. Сплавы. Обручальные кольца. Мифы вокруг серебра. Бактерицидные свойства серебра, «святая вода» и «наноноски». Серебряное зеркало. Черно – белая и цветная фотография. Очки – хамелеоны. Золото в микроэлектронике. Сусальное золото.

Кассиев пурпур, наночастицы золота. «Зеленая химия» для получения наночастиц благородных металлов. Плазмонный резонанс. Кремлевские звезды и древняя чаша. Спиновая лестница. Медицина и наночастицы, диагностика.

Самособирающиеся слои. Мягкая литография.

Опыты: получение кассиева пурпура, растворение золота в царской водке, серебрение, фоточувствительность галогенидов

Темы проектных работ: “зеленая химия” и наночастицы, черно – белая фотография и цветное тонирование, фотохромные стекла, переработка старых пленок, поглощение света коллоидами серебра и золота

Железо, кобальт, никель

Триада железа (железо, кобальт, никель как элементы). Стали и сплавы, монетные сплавы, немагнитные и магнитные сплавы. Коррозия и борьба с ней. «Усы» сверхчистого железа. Ферриты со структурой шпинели, перовскита и граната. Магнитные наночастицы, гипертермия и доставка лекарств. Контрасты для магнито – резонансной томографии. Суперпарамагнетики и ферромагнетики. «Умные» магнитные жидкости. Устройства записи информации. Спинтроника. Металлические и неметаллические магнитные материалы. Аморфные сплавы. Металлические стекла и МЭМС.

Опыты: «Силит» и ингибирование, пирофорное железо, берлинская лазурь, кроваво – красный роданид, получение магнитного Fe_3O_4 , никель Ренея, карбонил железа (под тягой, в малых количествах), соли и комплексные соединения кобальта, гжель

Темы проектных работ: цветная магнитная жидкость, исследование магнитофонной ленты и «винчестера», разбираем аккумулятор сотового телефона (с соблюдением техники безопасности), солевые микрокапсулы с магнитными наночастицами железа (пиролиз аэрозолей)

Платина, палладий

Платина и палладий как элементы. Кластеры, карбонилы, необычные степени окисления металлов. Дожиг газов, механизм катализа (самоорганизующиеся структуры). Изомерия комплексов, противораковые препараты. Поглощение палладием водорода. Гигантские кластеры палладия. Нобелевская премия за использование палладиевых комплексов в тонком органическом синтезе. OsO_4 и другие соединения платиноидов.

Опыты: платиновое огниво (сравнение с «вулканчиком» и каталитическим действием оксида хрома (III)), поглощение водорода палладием и «горение» его гидрида

Темы проектных работ: индикаторы на угарный газ, получение платиновой черни и ее каталитическая активность

Уран

Уран как элемент. Радиоактивный распад. Ионизирующие излучения, рентгеновские лучи. Супруги Кюри и их работы. Курчатов. ТВЭЛ, АЭС. Как рассчитать атомную бомбу? Трансурановые элементы и «остров стабильности».

Водородное «диспергирование» металлического урана. Разделение изотопов. Жидкофазная экстракция соединений актинидов.

Опыты: показ соединений урана, счетчик Гейгера, нерастворимые соединения натрия

Темы проектных работ: компьютерный расчет радиоактивных рядов, расчет мощностей ядерных взрывов для различных актинидов

Дополнительно: экскурсия в Курчатовский Институт на первый советский ядерный реактор

Фосфор

Фосфор как элемент. Кока – кола. Жесткость воды и калгон. Зарин, зоман и другие отравляющие вещества. Спички. Ошибки Конан – Доля (собака Баскервилей).

Зачем нужно «есть» соединения фосфора. Биологическая роль фосфора. Молекулярные машины и АТФ. Где в нашем организме есть вредные и полезные фосфаты? Зачем в зубной пасте фосфор? Биокерамика.

Новые поколения аккумуляторов на основе нанокристаллического $LiFePO_4$.

Опыты: белый и красный фосфор, реакция фосфорного ангидрида с водой, реакция бертолетовой соли и красного фосфора при ударе

Темы проектных работ: изготовление искусственной кости, несгораемые ткани, препараты против накипи, пигменты на основе гидроксилпатита, получение нанокристаллического гидроксилпатита

Цирконий и гафний

Цирконий и гафний как элементы. Реакции гидролиза и образование «неорганических полимеров». Осаждение пленок из паровой фазы. Барьерные материалы. Турбины самолета. HfC.

Кислородные ячейки. Топливные элементы.

Дисперсионное и трансформационное упрочнение керамики. Биоматериалы на основе диоксида циркония.

High – k материалы. Наноэлектроника.

Опыты: гидролиз соединений цирконила, минералы, лопатки турбин

Темы проектных работ: получение керамики из диоксида циркония

Молибден и вольфрам

Молибден и вольфрам как элементы. Транспортные реакции и иодидное рафинирование. Лампочка накаливания. Галогенные лампы. Первый ионный микроскоп. Вольфрамовые острия для сканирующей зондовой микроскопии.

WO₃ и MoO₃, летучесть (сублимация). Бронзы и сини. Центры окраски. Фотохромные материалы и умные окна. Гетерополисоединения. Микроэлементы. Фермент нитрогеназа и связывание азота.

Дисульфидные соединения. «Монослоевые дисперсии» и пленки Лэнгмюра – Блоджет. Нанотрубки дисульфида вольфрама. Химические источники тока.

Кермет, «победит». Наночастицы карбида вольфрама.

Опыты: молибденова синь, реакции обнаружения фосфора

Темы проектных работ: электрохимически проявляющиеся надписи («симпатические чернила»)

План рассказа про элемент:

- Положение в ПСЭ
- Год открытия, мифы и легенды
- Нахождение в природе и минералы, распространенность
- Способ добычи
- Степени окисления и характер химической связи (соединений)
- Основные химические реакции (писать на доске и уравнивать вместе со школьниками)

Основная литература

1. www.nanometer.ru
2. Дж.Пиментел, Дж.Кунрод. Возможности химии сегодня и завтра. М.:Мир, 1992.
3. Популярная библиотека химических элементов, кн.1-2. М.:Наука, 1977.
4. З.Полер. Химия на пути в третье тысячелетие. М.:Мир, 1982.
5. А.Р.Вест. Химия твердого тела. М.:Мир, т.1,2, 1988.
6. «Нанотехнологии. Азбука для всех». Сборник статей под редакцией Ю. Третьякова, М., Физматлит, 2007.
7. Пул Ч., Оуэнс Ф. «Нанотехнологии», М., Техносфера, 2006.
8. "Богатство наномира" (фотоальбом научной фотографии)
9. и другие по мере необходимости...

P.S. План - лишь малая часть всего. Главное - реализация. Возможно, фантазии лишь фантазиями и останутся, но если постараться (да еще на видео записать и подготовить иллюстративный и раздаточный материал), тогда уже что - то можно обсуждать. По крайней мере, интересно

попробовать... в рамках минимально допустимого воздействия на интеллектуальную активность школьников, тщательно оберегаемых от перегрузки и излишних знаний родными творцами ЕГЭшного школьного образования.

Интервью директора компании НТ-МДТ В.А.Быкова. «Наука и бизнес неразделимы»



В сентябре генеральный директор группы компаний НТ-МДТ Виктор Александрович Быков отметил свое 60-летие. Корреспондент издания «Зеленоградский предприниматель» побеседовал с юбиляром о жизни, научном бизнесе и судьбе Зеленограда.

Виктор Александрович, пользуясь случаем с удовольствием поздравляю Вас с юбилеем. Вы – известный человек, Ваше имя звучит и в связи с темами развития российской науки и в материалах, посвященных бизнесу. Кем Вы себя больше ощущаете – ученым или бизнесменом?

Я не провожу здесь границы. Так раньше было в советское время, что науку двигали за государственный счет, по сути бесплатно. Поэтому все для работы приходилось делать самим. Такое натуральное хозяйство. Сейчас по-другому. Современная мировая наука сильно связана с экономикой. Чтобы построить самолет или автомобиль или микроскоп, надо очень хорошо разбираться в принципах их устройства. И здесь не обойтись без глубокой, подчас фундаментальной науки. Но чтобы произвести это как продукт, который кому-то нужен, который кто-то готов купить и использовать, для этого нужно быть интегрированным в мировую хозяйственную систему. Большинство блоков и узлов где-то уже разработали. Люди уже производят их с наилучшими характеристиками. Нам остается найти эти самые лучшие комплектующие и встроить их в конструкцию нашего продукта. Разработать продукт, произвести его, найти того, кому он нужен и продать – это бизнес. В моем понимании невозможно сегодня отделить науку от бизнеса. Без науки бизнес превратится в базар, купи-продай, без бизнеса наука зачахнет и выродится, как это произошло в Советском Союзе.

Продукция Вашей компании от года к году становится все сложнее. Можно ли сказать, что наука и инструменты для научных исследований – это Ваши приоритетные направления?

Действительно, оборудование, которое мы производим, становится все сложнее с каждым годом. Компания НТ-МДТ в этом году тоже отметила юбилей – 20 лет – серьезный возраст. Так вот наши НаноФабы даже десять лет назад казались невообразимой фантастикой. Мне говорили: «Виктор, ты сумасшедший! Такие машины построить невозможно. По крайней мере, не в нашей стране и не в наше время» Но мы их построили. И с каждым годом совершенствуем и развиваем.

Если говорить о приоритетах, то мы снова возвращаемся к экономике. Приоритеты расставляет рынок. Сканирующие зондовые микроскопы востребованы, мы имеем очень неплохие позиции в мире. Естественно мы будем развивать это направление и в дальнейшем. Но вот скажем НаноФабы больше нужны для прикладных исследований. Это даже не исследовательский инструмент, а, скорее, технологический. НаноФаб нужен, чтобы оптимизировать технологический процесс, разработать последовательность технологических операций, которую можно будет впоследствии масштабировать и использовать в крупном производстве. Я очень надеюсь, что рынок технологий в нашей стране будет развиваться, соответственно, получит дальнейшее развитие наша линия технологических комплексов.

Если говорить о бизнесе. НТ-МДТ – это группа компаний, по сути корпорация, распространившая свои филиалы по всему миру. Что для Вас главное в бизнесе?

Сегодня многие думают, что бизнес – это как заработать много денег. По-моему, все как раз наоборот. В первую очередь у человека должна быть идея, должно быть желание что-то изменить в этом мире, сделать что-то полезное для людей. Деньги – это всего-навсего критерий. Они задают шкалу, по которой можно количественно оценить эффективность производимых усилий. Если мы считаем, что наша продукция нужна для людей, мы должны быть в состоянии убедить людей купить наше оборудование. Если мы уверены, что произвели что-то хорошее, нам легко это продавать. Кстати, именно поэтому мы так серьезно относимся к сервисному обслуживанию и техническому сопровождению наших приборов.

А дальше есть план. Каждый человек в компании знает, если компания выполняет поставленные задачи, его личный доход увеличится. И человек старается повысить свою эффективность, предлагает новые решения. Если решение удачное, если оно помогает нам сделать что-то быстрее, проще, дешевле, лучше и, в итоге, больше заработать, то человек растет, ему доверят больше ответственности. Т.е. деньги позволяют измерить эффективность работы и повысить эту эффективность. Но деньги не являются главной целью. Главная цель нашей группы компаний – создавать оборудование, причем такое, которого нет больше ни у кого в мире.

Что Вы можете посоветовать молодым предпринимателям, которые только собираются открыть свой бизнес?

Не бояться и быть активным. Всегда приходится выходить за пределы компетенции, но делать это нужно, опираясь на багаж, а не на пустоту. Надо стараться как можно глубже понять предмет бизнеса, активно набирать необходимую компетенцию и тогда ты будешь способен ответственно принимать решения. Искусству управления учиться безусловно надо, но необходимо понимать, что лишь в случае, если ты сам способен рожать идеи и не просто идеи, а плодотворные идеи, ты будешь ценить эту способность в других.

Сегодня очень много появилось курсов, бизнес-школ, дипломированных менеджеров. Это хорошо, но это должен быть как минимум второй диплом, а во-первых, конечно, если твой бизнес высокие технологии, необходимо техническое образование. Обязательно нужен опыт успешной работы в проектах, опыт самостоятельного руководства проектом. Человек должен пройти через цепь личных достижений, почувствовать вкус победы, научиться управлять собой, своим временем, работать с реальными людьми в реальной команде. Цвет диплома не важен, важен вкус успеха и его надо понять.

Всегда надо стремиться к большему, кто не хочет быть первым оказывается последним. А практически есть два пути: можно быть первым, научившись понимать природу, добиваясь результатов высшего качества, а можно выбрать второй путь – идти по головам или топить окружающих. Сила приходит только к первой категории. Бизнес в Хай-Техе шелухи не терпит.

Как Вы оцениваете перспективы микро- и нанoeлектроники в нашей стране? Что по Вашему будет с Зеленоградом?

Зеленоград был ключевой с труктурой советской электроники, но были и другие центры, обеспечивающие мощные позиции микроэлектроники СССР на мировом рынке, в первую очередь рынке стран СЭВ. Кроме того, разработки обеспечивались рядом прикладных и академических институтов, а рынок был гарантирован и защищен от конкуренции. Сейчас ситуация в корне другая, гораздо более сложная. В первую очередь необходимо думать о рынке, а рынок требует конечной продукции высшей категории качества с хорошим сервисом, требует солидных, узнаваемых торговых марок. И здесь накопленный ранее, в советское время опыт может играть и негативную роль. Для того, чтобы Зеленоград превратить в Сингапур, нужно вложить, как минимум миллиардов 50 долларов, да при этом помнить, что Сингапур будет твоим конкурентом.

Поэтому необходимо отчетливо понимать, зачем ты это делаешь. На мой взгляд более перспективен другой путь, путь интеграции, интеграции в мировую систему товаропроизводства.

Сильными сторонами Зеленограда являются наличие рынка высококвалифицированных специалистов. МИЭТ, Физтех их постоянно поставляют. Производить перспективную элементную базу следующих поколений можно и не создавая новых сингапуров, а используя их, дополняя принципиально новыми технологиями, например, технологиями наноэлектроники. Структура производящих фабрик может быть принципиально другой, с распределенной производственной базой. Но она должна держать в руках начало и конец разработки и производства, включая в том числе и дизайн-центры. Ну и технологические линии наноэлектроники, а это не только размеры, но и новые физические принципы, на которых базируются основные свойства выходящих изделий.

Кроме того, необходимо развивать бизнесы по производству конечной продукции. Конкурентные преимущества будут обеспечены той самой принципиально новой элементной базой, которая разрабатывается в Зеленограде. Идеи такой новой, конкурентоспособной продукции должны рождаться именно здесь.

У нас есть и еще одно очень серьезное преимущество. Сегодня мы сами способны разрабатывать и производить как новейшее технологическое оборудование, так и самые современные технологии. В Зеленограде, в институте Физических проблем им.Ф.В.Лукина для этого запускается мощнейший науно-производственный центр с очень серьезным аналитическим комплексом, включающим источник синхротронного излучения.

Много таких центров не построишь, да их и не надо много. Высокотехнологические бизнесы хорошо развиваются кластерами, как и все в природе. Зеленоград должен быть центром такого кластера, в нем концентрируются самые светлые мозги, без которых победа на рынках не возможна. Он был рожден таким и таким должен остаться, собирая талантливых разработчиков, активных и грамотных менеджеров, умных политиков. И только глубокое осознание этого приведет к рождению своих замечательных торговых марок. Надеюсь, что СИТРОНИКС, АНГСТРЕМ будут таковыми и то, что РОСНАНО оказывает поддержку зеленоградским проектам – это хороший знак. А наша группа компаний «НТ-МДТ» постарается обеспечить развитие новыми технологическими комплексами, аналитическим и метрологическим оборудованием наивысшего качества, в тесном сотрудничестве с НИИФП и новейшими технологиями, которые там будут создаваться.

Вы чувствуете себя счастливым человеком?

Абсолютно счастливы только полные идиоты, но у меня замечательная супруга, мои сыновья помогают мне в нашем общем деле. Подрастают внуки. Надеюсь, они тоже найдут свою дорогу в жизни, научатся работать и своими руками создавать хорошие вещи, научатся быть полезными людям. Вообще семья очень помогает почувствовать жизнь. Есть и замечательные ученики. У нас дружная и талантливая команда, которая растет и размножается. Все это придает сил и даже когда очень сложно, понимаешь, ради всего этого стоит бороться, работать и , в конце концов, побеждать, и все это в цикле - бороться, работать, побеждать.

Интервью с заведующим кафедрой биофизики биологического факультета МГУ А.Б.Рубиным. «Наука есть не только знание, но и сознание, т.е. умение пользоваться знанием».

З.А.Титова



Это изречение принадлежит великому историку XIX столетия В.О. Ключевскому. Смысл цитаты актуален и сегодня. Что мы знаем о современных ученых, чьи имена известны во всем мире, чья жизнь связана с наукой? Каковы их взгляды на происходящее сегодня в научной сфере и не только? Согласитесь, увы, нам известно не так много. Именно поэтому был рожден проект «Выдающиеся ученые и новые открытия». Этим интервью продолжается цикл материалов, подготовленных в рамках сотрудничества Центра СМИ МГУ и портала «Нанометр». Нашим новым интересным собеседником стал член-корреспондент РАН Андрей Борисович Рубин, заведующий кафедрой биофизики биологического факультета МГУ.

1. Андрей Борисович, Вы являетесь заведующим кафедрой биофизики биологического факультета МГУ. Можете ли Вы пояснить, что такое биофизика и чем по направлениям работ и по стилю (и по духу) отличается Ваша кафедра, скажем, от кафедры биофизики физического факультета

МГУ?

Начиная с 60-70-х гг. XX в. утвердилось понятие «пограничные науки». В то время оно отождествлялось с точками роста вообще всей науки, так как именно на стыках происходит бурное развитие. В природе все взаимосвязано, это человек разделил знания на области, чтобы было легче понимать происходящее. Биофизика – типичная пограничная наука, это рефрен взаимодействия и сплав биологии и физики, математики, физической химии. В 1953 г. была организована 1-я в стране отдельная кафедра биофизики на базе биофака МГУ. И сегодня отбор студентов на нее ведется уже с 1-го курса. В этом и, кстати, отличие от одноименной кафедры на физфаке, где специализация происходит на 3-ем курсе. Мы считаем, что надо развивать мыслительные способности во всех смежных направлениях науки как можно раньше и, главное, одновременно. С физическим факультетом нас объединяют научные работы и, в частности, у нас единый квалификационный совет по защитам диссертаций. Нашим студентам отдельно читают курсы математики, физики (к слову, замечу, что студенты слушают лекции по всем разделам физической науки, включая теоретическую физику), что необходимо, чтоб решать биологические проблемы в биофизике. Если говорить образно, метафорически, то на кафедре биофизики мы готовим десятиборцев, каждый из которых при желании может свернуть горы и установить рекорды в конкретной области знания за счет концентрации усилий на базе всестороннего развития. Как физики биофизики изучают механизмы фундаментальных взаимодействий, лежащих в основе биологических процессов.

2. Многие из Ваших сотрудников занимаются молекулярными машинами, процессами фотосинтеза. Почему это так важно, именно это направление? Может ли оно иметь значение для альтернативной энергетики, медицины, сенсорики? Каким современным оборудованием сейчас оснащена кафедра?

Фотосинтез – многоэтапный процесс, его начало, можно сказать, самое физическое – это квант света, который переводит молекулу хлорофилла в электронно возбужденное состояние. За счет энергии кванта света электрон отрывается от молекулы хлорофилла и по длинной цепи

переносчиков доходит до молекулы углекислого газа, восстанавливает ее и в результате получается молекула сахара. На кафедре имеется оборудование для изучения переноса электронов во всех скоростных диапазонах. Биофизика здесь занимается изучением начальных этапов преобразования энергии света, которые проходят за время $10^{-12} - 10^{-3}$ с. Для энергетике одним из альтернативных источников энергии является водород, его берут, используют в том числе процесс фотосинтеза. Основная задача – научиться управлять потоками энергии, меняя условия, интенсивность освещения.

3. Расскажите, пожалуйста, о направлениях клеточной и медицинской биофизики, которые также активно развиваются на Вашей кафедре. С какими факультетами МГУ, другими университетами и медицинскими центрами сотрудничают группы кафедры биофизики по данным направлениям?

Область нанобиотехнологии - новая. В медицине – это адресная доставка лекарств в клетку, диагностика. Надо иметь в виду, что наночастицы (НЧ) и лекарства на их основе, проникающие через гематоэнцефалический барьер и достаточно долго циркулирующие в крови, могут накапливаться в клетках крови и клетках других органов и тканей, включая нейроны. В результате под действием НЧ могут развиваться некоторые нейродегенеративные заболевания. Оказалось, что бактерицидное действие углеродных нанотрубок проявляется и в увеличении токсического действия антибиотиков, например, грамицидина – полипептидного антибиотика широкого спектра действия. Эти свойства углеродных нанотрубок позволяют считать перспективным их использование в лечении нагноения ран (послеоперационные осложнения, трофические язвы и др.), вообще необходимо проводить детальные исследования влияния НЧ на функциональную активность клеток. В качестве объектов исследования мы используем клетки крови (эритроциты), иммунокомпетентные тучные клетки и нервные клетки (нейроны и нервные волокна).

На кафедре биофизики разработаны методы исследования, позволяющие оценить изменения параметров возбуждения нервных клеток, их вязкости, поверхностного заряда, проницаемости плазматической мембраны, а также энергообеспечения клетки. Тут в первую очередь надо сказать об использовании света в борьбе с локализованными опухолями, т. е. речь идет о фототерапии рака. Эти работы развиваются совместно с РАН.

4. Насколько мы знаем, у Вашей кафедры сложились очень хорошие партнерские отношения со многими ВУЗами и организациями, в МГУ, например, в последнее время - с факультетом наук о материалах, это и совместные проекты, и перекрестная практика студентов, активное и плодотворное участие Ваших молодых сотрудников в организации и проведении IV Всероссийской Интернет – олимпиады по нанотехнологиям. Зачем биологу знания о материалах? Какая связь биофизики и нанотехнологий? Что может "родиться" из такого сотрудничества сейчас и в будущем в образовательном и научном плане?

Реализуется совместный проект кафедры биофизики и ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» по созданию метрологического комплекса и нормативно-методической базы для измерения структурно-морфологических и динамических характеристик клеток в нанобиотехнологии.

На основе совмещения методов атомно-силовой микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния и фазово-динамической и флуоресцентной томографии создается метрологический комплекс для контроля за воздействием на метаболизм функционирующих клеток.

Имеющееся оборудование позволяют провести исследования с наночастицами серебра, золота, окислов железа, полупроводников и другими наноматериалами.

У нас тесные связи с факультетом наук о материалах.

Наноразмерные частицы, их свойства, способы получения известны в химии давно, и сегодня имеются возможности непосредственной визуализации частиц, манипулирования отдельными

молекулами. При уменьшении линейных размеров частиц, возникают новые физические свойства, например квантовые точки. А как раз молекулярные объекты в биофизике наноразмерны и обладают особыми свойствами. Поэтому нам надо учиться у живой природы для использования нанобиотехнологии. Это своего рода молекулярная бионика.

5. Что бы Вы сказали абитуриентам, собирающимся поступать на биологический факультет МГУ, которые, возможно, придут потом, к Вам на кафедру? Какие достижения современной биологии Вы считаете главными и как проявит себя эта наука в ближайшем столетии, что ждет ее и чего нам ждать от нее?

Однажды отечественному физиологу И.П.Павлову задали похожий вопрос и общий смысл его ответа сводился к следующему: «Я хочу пожелать молодежи, чтоб она научилась именно хорошо желать...» Учиться думать, это главное средство проникновения в суть вещей. Если не развивать в себе это умение, то вы будете впадать в дурацкие положения, будете в плену чужих оценок, причем чаще всего ложных. Университет учит думать, и тем самым воспитывает Личность. В этом главная цель образования. Мы против каких-то изменений, которые выхолащивают творческую компоненту в учебе.

6. Есть ли у Вас какое-нибудь интересное хобби?

У меня их два. Горные лыжи, увлекся ими сравнительно недавно. И синхронный перевод с английского на русский и обратно. Этим я занимаюсь с 1961 г., когда состоялся конгресс по биохимии, тогда искали специалистов, которые свободно владели иностранным языком и могли синхронно и грамотно для аудитории переводить. У меня с детства была возможность изучать английский в американском варианте. Это до сих пор успешно применяю на практике, постоянно читаю английскую литературу.

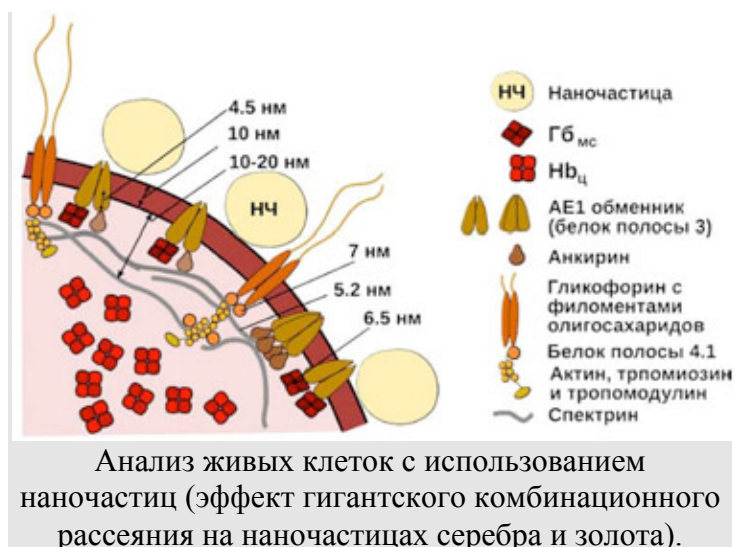
7. Расскажите о своих школьных годах, любимых педагогах.

Я закончил мужскую школу в 1954 г. Школа – это не только и не столько сумма знаний, это – мотивация характера, поведенческой линии человека. Одобряю идею отдельного обучения, но не изолированного, досуг должен быть общим.

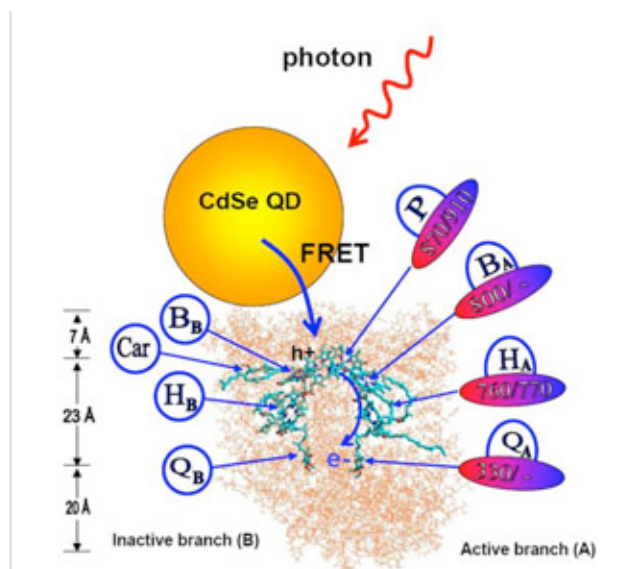
Мне повезло: я получил образование от людей, либо дореволюционной педагогической подготовки, либо советской поры, когда учеба воспринималась как трудный, но вместе с тем творческий процесс. Московский университет в его классическом понимании, восприятии призван именно развивать и развивает творческие способности молодых людей.

Из школьных учителей наиболее сильное влияние на меня оказал учитель физики – Алексей Александрович Седов. В то время физика, особенно ядерная, занимала передовые позиции в мире. Он сказал мне: «ты можешь достигнуть успеха, занимаясь теоретическими вопросами физики, но если ты научишься и будешь сопоставлять то, что раньше, до тебя не делали, то откроешь для себя гораздо больше интересного и полезного». Это и стало решающим фактором – я поступил на биофак МГУ на кафедру биофизики.

Также с большой теплотой и уважением я вспоминаю учительницу математики Бердоносону Ангелину Федоровну, строгую, но справедливую; и двух педагогов истории – Кантора Рувима Иоханановича и Кривову Любовь Павловну. Всем учителям спасибо, что привили мне серьезное отношение к учебе, заложили стремление много трудиться, ведь процесс получения знаний – труд, а знания сами по себе имеют самодавяющую ценность. Педагогам-гуманитариям я благодарен за то, что они учили нас неформальности мышления, воспитывали в нас интеллигентность, заложили и взрастили основы социальности.



Анализ живых клеток с использованием наночастиц (эффект гигантского комбинационного рассеяния на наночастицах серебра и золота).



Конъюгация квантовой точки и реакционного центра фоточувствительного белка бактериородопсина.

Интервью заместителя декана ФНМ МГУ В.И.Путляева. «В стремлении к вершинам познания...»

З.А. Титова

«Наука есть не только знание, но и сознание, т.е. умение пользоваться знанием».

Это изречение принадлежит великому историку XIX столетия В.О. Ключевскому. Смысл цитаты актуален и сегодня. Что мы знаем о современных ученых, чьи имена известны во всем мире, чья жизнь связана с наукой? Каковы их взгляды на происходящее сегодня в научной сфере и не только? Согласитесь, увы, нам известно не так много. Именно поэтому был рожден проект «Выдающиеся ученые и новые открытия». Этим интервью продолжается цикл материалов, подготовленных в рамках сотрудничества Центра СМИ МГУ и портала «Нанометр». Нашим новым интересным собеседником стал Валерий Иванович Путляев – заместитель декана факультета наук о материалах МГУ.

1) Вы занимаетесь в своей научной группе биоматериалами. Какую роль играют и насколько они могут быть важны в наступившем веке высоких технологий? Можете привести несколько ярких примеров?

В наступившем веке высоких технологий средоточием всего остается человек. Именно он - мера и смысл наблюдаемых сегодня грандиозных перемен. Подобное гуманистическое мировоззрение диктует возрастающий интерес к увеличению качества и продолжительности человеческой жизни. Достижение подобной цели предполагает, в частности, и создание материалов для искусственных органов и тканей. За последние четыре десятка лет использовано более 40 различных материалов (керамика, металлы, полимеры) для лечения, восстановления и замены более 40 различных частей человеческого тела, включая кожные покровы, мышечную ткань, кровеносные сосуды, нервные волокна, костную ткань. Разработка заменителей костной ткани знаменует, по словам одного из «патриархов» направления - профессора Лондонского Империял колледжа Ларри Хенча, революционный этап в развитии человечества: «Тысячелетия тому назад открытие того, что огонь может превратить бесформенную глину в керамическую утварь, привело к возникновению земледельческой цивилизации и радикально улучшило качество и продолжительность жизни.

Другая революция произошла уже в наши дни в области использования керамики в медицинских целях. Это инновационное применение специально спроектированных керамических материалов для замены и лечения больных или поврежденных частей тела". В наше время стали почти рутинными (и больше не вызывают суеверный ужас) такие операции, как имплантация зубов, замена тазобедренного сустава, участков трубчатых костей. Исследования, разработка и производство биокерамических материалов составляют существенный сегмент современного рынка наукоемких технологий, емкость его достигает 50 млрд.\$, а годовой прирост колеблется от 6 до 25%. Больных, нуждающихся в операциях по восстановлению целостности кости, довольно много: только в США, например, эта цифра составляет 1 млн. человек ежегодно.

2) Чем занимаются Ваши студенты и аспиранты сейчас в своей научной работе? Как и с каких факультетов Вы отбираете их в группу?

Интересы сфокусированы на новых неорганических и гибридных (т.е. органо-неорганических) материалах для создания костных имплантатов, содержащих кальций и фосфор, как и естественная костная ткань. Подобные материалы сначала выполняют опорную и направляющую роль, а затем растворяются (резорбируются) организмом, поставляя «строительный материал» для образующейся на их месте кости, при этом материалы еще и активно воздействуют на синтез новой костной ткани.

Студенты и аспиранты нашей группы не только проектируют и изготавливают такие материалы, используя весь арсенал приемов современной химии, но и самостоятельно проводят их исследование методами электронной и атомно-силовой микроскопии, рентгенографии, спектроскопии. В своей основе - это учащиеся Факультета наук о материалах (ФНМ) и Химического факультетов, но, естественно, мы открыты для сотрудничества и будем рады видеть у нас студентов с других факультетов МГУ.

3) Цикл создания биоматериала более сложен, чем обычных материалов, поскольку наверняка придется испытывать их не только «в пробирке», но и при реальных операциях. С кем Ваша группа сотрудничает в Академии наук, на других факультетах МГУ, в других ВУЗах?

Поскольку материал, в конечном итоге, помещается в организм человека, ошибки должны быть исключены. По этой причине путь материала в операционную растягивается на 5-10 лет. За это время материал пройдет сложный цикл исследования, в том числе *in vitro* («в пробирке»), будет протестирован на различных лабораторных животных. Мы сотрудничаем с Химическим и Биологическим факультетами, Воронежским и Казанским ГУ, из институтов РАН – Институт металлургии и материаловедения (ИМЕТ РАН), а также Институт общей и неорганической химии (ИОНХ РАН), Институтом теоретической и экспериментальной биофизики (ИТЭБ РАН), Московским научно-исследовательским онкологическим институтом им.П.А.Герцена Росздрава. Среди наших зарубежных партнеров - Университет Дуйсбурга-Эссена (Германия) и Национальный институт материаловедения (NIMS, Япония).

4) Какая подготовка нужна студентам, чтобы заниматься получением и исследованием биоматериалов? Должна ли это быть междисциплинарная подготовка или главное – «медицинские» навыки? Может ли успешно придумать и сделать эффективно действующий биоматериал «чистый» химик, физик, биолог, механик? Что из знаний «зашиито» в той области, которая связана с биоматериалами?

Вопрос, по существу – риторический. Конечно, междисциплинарная подготовка в области химии, физики и механики материалов играет главенствующую роль. «Чистый» химик, физик, биолог или механик не будет столь эффективен. Однако мы не требуем от студента специализированных медико-биологических навыков, в частности, практического свойства. Важнее, иметь представления о биологических основах взаимодействия материала с организмом, и то, как на это влияют различные методы изготовления материала. Кстати, интересно отметить, что основная терминология в этой области (взаимодействие имплантатов с костной тканью) разработана именно

учеными-материаловедами.

5) И вопрос как заместителю декана – можете ли Вы сказать, что студенты именно Вашего факультета действительно готовы решать столь эпохальные задачи, как создание биоматериалов и почему? Как факультет предпочитает отбирать абитуриентов – по олимпиадам (и каким) или ЕГЭ? Какое напутствие Вы бы дали абитуриентам, которые собираются поступать в Московский Университет?

Если развивать ответ на предыдущий вопрос, то, вероятно, надо было бы сказать, что как раз студенты ФНМ и способны решать подобные задачи, возникающие на стыке дисциплин. Я ограничусь более спокойной формулировкой: в силу междисциплинарного характера подготовки им под силу принять этот и другие вызовы нашей эпохи. Вы наверняка знаете, что ФНМ – это, вероятно, единственный факультет в МГУ, где научная работа студента входит обязательной строкой в учебный план. В конце каждого семестра каждый, подчеркиваю, каждый студент выступает с презентацией на научно-студенческой конференции и защищает собственную научную работу за текущий период перед жюри и своими сокурсниками. К моменту защиты бакалаврской работы или магистерской диссертации, выпускник имеет десяток (а чаще и не один) научных публикаций, включая статьи в высокорейтинговых научных журналах. По этой причине перед руководством факультета стоит нелегкая задача отбора абитуриентов, способных успешно освоить образовательную программу в области наук о материалах, получить навыки в научно-исследовательской работе и самостоятельно работать в избранных ими областях современного материаловедения. На данный момент для отбора есть три составляющих: ЕГЭ, олимпиады, вступительный экзамен. Нам представляется важным использовать все три. Давайте не будем сосредотачиваться на недостатках ЕГЭ, сейчас только ленивый не говорит об этом. Роль ЕГЭ в отборе абитуриентов я бы выразил следующим образом: высокие баллы ЕГЭ не обязательно означают успешное обучение в университете (многие вузы проводили соответствующий анализ и делали такой вывод, ФНМ также провел сопоставление успехов первокурсников с их оценками ЕГЭ и не обнаружил корреляции). Тем не менее, низкие баллы ЕГЭ однозначно свидетельствуют о глубоких провалах в школьных знаниях. Предлагаю не обсуждать и достоинства олимпиад школьников. Творческий характер задач олимпиад справедливо противопоставляют тестовой системе ЕГЭ. Однако и у олимпиадного отбора есть два недостатка. Первый – единичная олимпиада выявит творческие способности, но вряд ли стремление к обучению (мотивацию). Кто будет более успешен в смысле конечного результата обучения: очень способный, но мало заинтересованный в учебе, или мотивированный студент, способности которого нуждаются в развитии? Опыт показывает, что у первого чаще всего возникают проблемы, и реализовать свой потенциал ему не удастся. Второй недостаток – олимпиада олимпиаде рознь. Если так вдруг случится, что общий уровень участников данной олимпиады невысок, то все равно регламентированное количество их будет в числе победителей и призеров. Тогда единственный выход – сравнить результаты конкретного абитуриента в различных олимпиадах (по одному и тому же предмету, конечно). Именно такая стратегия ФНМ позволила обеспечить успешный набор абитуриентов в прошлом 2009 г. На какие олимпиады более всего рассчитывает ФНМ? Прежде всего, это Интернет-олимпиада «Нанотехнологии – прорыв в будущее!», основная роль в организации которой принадлежит факультету. Эта олимпиада выявляет мотивированных и способных абитуриентов. К сожалению, мотивирующая сторона таких олимпиад, как «Покори Воробьевы горы» и «Ломоносов», в силу изменения формата их проведения, а потому и интерес к ним со стороны ФНМ, снизились (хотя в этом году факультет все же планирует засчитывать результаты этих двух олимпиад при поступлении). Наконец, экзамен призван сбалансировать отдельные стороны ЕГЭ и олимпиадной системы. Для ФНМ в настоящем году – это письменная математика. Для междисциплинарного факультета, который в равной мере старается развивать химию, физику и механику материалов, это пока представляется разумным. Кроме того, зная глубокие дефекты в преподавании математики в школе и чрезвычайно высокий уровень университетских требований по этому предмету, дополнительный контроль знаний по университетской мерке – залог успешного обучения на первом курсе.

Ну и о напутствиях абитуриентам. Прежде всего, желаю вам взвешенно выбрать (если это еще не

сделано) свою будущую специальность. Подобно известному булгаковскому персонажу советую не особенно доверять средствам массовой информации, там превалирует деформированная картина развития и науки, и общества. Разумеется, приглашаем вас на наш факультет. Как минимум, это перспективно. Научные интересы факультета гораздо шире обсуждаемой сегодня темы биоматериалов и включают многие разделы, относящиеся к нанотехнологиям и наноматериалам. Второе, хотелось бы, чтобы, поступая в МГУ, вы настраивались на серьезную работу, а не на легкое времяпрепровождение. Ведь именно здесь будут заложены основы вашей карьеры. Третье и последнее: удачи на вступительных испытаниях, надеемся вас увидать в числе студентов, успехов в дальнейшей учебе.

б) Расскажите о своих любимых предметах в школе?

Больше всего мне нравились химия и математика, это и определило выбор дальнейшего места образования и специальность. Я закончил химический факультет МГУ. Химия вызывает интерес зрелищностью, привлекает эмоциональной стороной: человек соприкасается с новыми веществами и материалами. Умело поставленный химический эксперимент, красочность сопровождающих его явлений без преувеличений сопоставимы с воздействием музыки или хорошего кинофильма. Мои школьные годы выпали на период, когда уроки химии сопровождалась демонстрацией опытов, все было наглядно. Сегодня у ребенка много отвлекающих моментов, тот же Интернет, школьник уже не испытывает той радости открытия, какая была у меня и моих сверстников. Математика – наука более строгая, она производит сильное впечатление своей логикой, опираясь на которую можно последовательно прийти к определенным умозаключениям, выводам. Работа на факультете наук о материалах требует глубоких знаний химии, математики и физики, тем самым позволяет мне реализовать мои интересы.

Интервью с Президентом Национальной ассоциации наноиндустрии М.А.Ананяном. «Перспективы развития рынка нанотехнологий в России» агентство Cleandex



В настоящее время нанотехнологии являются одним из наиболее перспективных и востребованных направлений науки, технологий и промышленности в индустриально развитых странах. По различным экспертным оценкам, мировой объем рынка продукции наноиндустрии варьируется от 700 до 1100 млрд. долларов.

О том, каковы перспективы развития рынка нанотехнологий в России, аналитики агентства Cleandex побеседовали с Президентом Национальной ассоциации наноиндустрии **Ананяном Михаилом Арсеновичем**.

Cleandex: Как Вы оцениваете перспективы развития рынка нанотехнологий в ближайшие годы?

М.А.Ананян: Проблемы развития рынка нанотехнологий непосредственно связаны с тем, насколько реальны разговоры о модернизации в стране. Только жесткие требования по модернизации в части энергоэффективности, ресурсосбережения, экологической безопасности, импортозамещения, наконец, национальной безопасности заставят заработать внутренний рынок России. Тогда можно будет говорить и о рынке нанотехнологий, а сегодня, к сожалению, подавляющее большинство потенциальных потребителей нанопродукции либо ничего не знает о возможностях нанотехнологий, либо не рассматривает их в качестве необходимого компонента в сложившемся от века производстве.

Cleandex: Какие направления применения нанотехнологий, по Вашему мнению, являются наиболее инвестиционно емкими и с чем это связано?

М.А.Ананян: Мне представляется, что сегодня наиболее инвестиционно емким является направление, связанное с получением наноразмерных компонентов в электронике. Однако это направление требует больших инвестиций из-за высокой стоимости специализированного технологического оборудования. Хочу подчеркнуть, что речь идет о микроэлектронике, достигшей уровня наномасштаба.

Наноэлектроника, как таковая, пока только зарождается. Ей должны быть присущи другие принципы формирования структур и обработки информации. Возможно, только тогда можно будет уйти от безумия необходимых инвестиционных вложений.

Cleandex: Считаете ли Вы реально достижимым объем российского производства нанопродукции в 900 млрд рублей к 2015 году?

М.А.Ананян: Говорить об объеме нанопродукции в 2015 г. крайне трудно, в первую очередь потому, что сейчас все стараются подгрести под слово "нано".

Планы, провозглашенные чиновниками, постепенно меняются – от 4 трлн. рублей до 900 млрд. рублей. Последняя версия, которую огласил один из ведущих специалистов ГК "Роснанотех", - 300 млрд. рублей. При этом он, правда, оговорился, что еще на 600 млрд. рублей будет создан научно-технический задел. Что это такое – не знаю.

Cleandex: Насколько востребована будет отечественная нанопродукция на внутреннем рынке? Либо преимущественно производство будет ориентироваться на экспорт?

М.А.Ананян: Как ни обидно, но российскими разработчиками в сфере нанотехнологий сегодня больше интересуются зарубежные фирмы, поскольку видят для себя прямой коммерческий интерес. Вместе с тем, вопрос о российской нише на мировом рынке нанотехнологий становится все более актуален. Уже неоднократно говорилось, что еще 5 – 6 лет, и мы никому не будем нужны. Сегодня доля России в нанотехнологическом секторе рынка составляет 0.04%. А времени остается все меньше и меньше.

Cleandex: Считаете ли Вы возможным вхождение России в число мировых стран-лидеров на рынке нанотехнологий?

М.А.Ананян: Россия – исключительно талантливая страна, и у нас, безусловно, были шансы войти в число лидеров.

Однако шансы в значительной степени упущены, во-первых, из-за того, что мы сильно задержались на старте нанотехнологий, потеряв 7 – 10 лет, во-вторых, потому что мы до сих пор, как мне представляется, не имеем цельной государственной программы развития этого направления, подобной Национальной нанотехнологической инициативе США.

...

Решение о создании Некоммерческой организации "**Национальная ассоциация наноиндустрии**" было принято на собрании учредителей в ходе III Научно-практической конференции "Нанотехнологии – производству 2006", прошедшей в Наугограде "Фрязино" в конце 2006г. В состав учредителей Ассоциации вошла 21 организация из 12 городов России.

Важными задачами Ассоциации являются защита интересов специалистов, работающих в области развития и внедрения нанотехнологий, укрепление деловых контактов между разработчиками и потребителями нанопродукции, выстраивание технологических цепочек, обеспечивающих получение реальных технико-экономических результатов в отраслях промышленности, в военной и социальной сферах.

Принципиальным моментом в деятельности Ассоциации является отказ от практики бессистемного "собираательства" предложений и проектов, которые представляются на различного рода конкурсы для последующего финансирования. Более значимым полагается создание инноваций, появление которых на рынке будет заведомо оплачено потенциальными потребителями. В связи с этим одной из задач Ассоциации является изучение постоянно меняющегося рыночного спроса и выбор тех точек приложения нанотехнологий, где они будут экономически эффективны.

Основные направления деятельности Ассоциации:

- просветительская деятельность: презентации нанопродукции, прямые контакты с руководителями и ведущими специалистами промышленных предприятий и т.д.;
- проведение целевых семинаров по различным направлениям практического использования нанотехнологий;
- участие в подготовке и распространении первого в России инженерного журнала "Нанотехника";
- поддержка действующих в ряде городов России региональных центров nanoиндустрии.

Основные достижения Ассоциации:

- создание Экспертного Совета Национальной ассоциации nanoиндустрии, в который вошли 19 докторов физико-математических, химических, технических, биологических, экономических наук, 8 из которых имеют академические звания;
- проведение совещания ректоров и проректоров 18 Государственных университетов, в том числе, 11 университетов – членов Ассоциации, посвященного вопросам эффективного использования существующего в университетах интеллектуального потенциала, подготовки кадров для отечественной nanoиндустрии, разработки специализированной приборной базы для проведения широкого круга экспериментальных работ в рамках учебных лабораторий.

Интервью с академиком Ю.А. Золотовым. «Наука есть не только знание, но и сознание, т.е. умение пользоваться знанием»

З.А.Титова



Юрий Александрович Золотов – заведующий кафедрой аналитической химии химического факультета МГУ.

«Наука есть не только знание, но и сознание, т. е. умение пользоваться знанием» - это изречение принадлежит великому историку XIX столетия В. О. Ключевскому. Смысл цитаты актуален и сегодня. Что мы знаем о современных ученых, чьи имена известны во всем мире, людях, чья жизнь связана с наукой? Каковы их взгляды на происходящее сегодня в научной сфере и не только? Согласитесь, увы, нам известно не так много. Именно поэтому был рожден проект «Выдающиеся ученые и новые открытия». Этим интервью открывается цикл материалов, подготовленных в рамках сотрудничества Центра СМИ МГУ и портала МГУ «Нанометр». Первым собеседником стал человек бесконечного обаяния, приятный в общении академик **Юрий Александрович Золотов** – заведующий кафедрой аналитической химии химического факультета МГУ,

минианализаторы позволяют определять только одно вещество и в одной определенной среде. Одно из очевидных достоинств микроприборов – компактность. Их можно будет носить в кармане. За такими удобными и в то же время недорогими устройствами – будущее. На кафедре лет шесть работал семинар, где обсуждались проблемы и нюансы создания таких миниатюрных химических приборов.

Так называемый метод термолинзовой спектроскопии, основанный на использовании лазеров, нашел применение при очень чувствительном определении веществ в жидкостях, в том числе и в воде. Этот метод, в отличие от широко распространенных фотометрических методов анализа на обычных источниках света, позволяет определять сверхнизкие содержания веществ. Специалисты кафедры регулярно публикуют большое число научных статей, а иногда и монографии о проведенных исследованиях.

3. Еще одним важным направлением, фундаментально значимым и многообещающим в практическом смысле, считают нанотехнологии. Но опыт Ваших коллег с факультета наук о материалах показывает, что анализ наноматериалов – крайне сложная задача, в том числе с метрологической точки зрения. Располагает ли сейчас аналитическая химия или активно разрабатывает такие подходы, которые позволят решать эту проблему эффективно?

Существуют понятие и термин «наноаналитика». Понятие это имеет два аспекта: 1) изучение нанообъектов, в том числе их химического состава и 2) использование нанообъектов для решения задач обычного химического анализа. В первом случае целью является изучение нанообъектов как таковых, во втором – нанообъекты служат эффективным средством химического анализа «нормальных» объектов. Аналитики, в том числе и на нашей кафедре, больше внимания уделяют второму аспекту.

Наночастицы, тончайшие пленки, мицеллы ускоряют протекание химической реакции, позволяют достичь новых эффектов в ходе химического анализа. Например, реагент, который нанесен на наночастицы серебра, используется для определения низких концентраций ряда вредных органических веществ.

В наноаналитике используются методы микроскопии, а именно атомо-силовая, сканирующая тоннельная, другие методы. Они выступают, в частности, средствами визуализации наночастиц.

4. Не так давно Вас пригласили прочитать лекцию участникам IV Интернет-олимпиады по нанотехнологиям. И школьники и молодые ученые, – все с восторгом отзывались о выступлении. Вы считаете, что аналитическая химия нужна будущим нанотехнологам? Если да, то когда максимально целесообразно начинать ее изучение: в школе, в вузе или, может быть, в аспирантуре?

Я думаю, что для восприятия и понимания школьниками аналитическая химия еще сложна, поэтому оптимально – в вузах и позже. Внимание студентов – будущих нанотехнологов необходимо фокусировать на физических методах анализа. А вообще было бы полезно прочитать факультативный курс лекций по аналитической химии аспирантам – для расширения их кругозора.

5. Как Вы относитесь к междисциплинарному образованию, к примеру, фундаментально-материаловедческому, которое в МГУ существует на факультете наук о материалах, на кафедрах биофизики, в Научно-образовательном центре по нанотехнологиям? Может, образование по-прежнему должно оставаться классическим «монопредметным»?

Мне кажется, что на ближайшие годы приоритет в образовании по-прежнему останется за монопредметным. Тем не менее я приветствую междисциплинарное образование, обучение на стыке наук: физика и химия, биофизика, математика и физика, биохимия и т. д. Междисциплинарное образование позволяет «перебрасывать мостики» между науками, в том числе и в системе подготовки кадров. Существование комплексных факультетов, на мой взгляд, вполне оправдано.

6. Сейчас предпринимаются попытки фактически сделать платным среднее образование. С учетом предыдущих «реформ» школьного и высшего образования, демографической ситуации это может создать серьезные проблемы для воспроизводства научных кадров. Каким Вы видите выход из ситуации? Как ведущему вузу страны искать и отбирать молодые таланты при таком положении дел?

Я твердо убежден, что среднее образование должно быть бесплатным и только таким. Делать его платным - это неправильный путь, более того - недопустимый. В этом случае непонятно, зачем нужны ло зунги типа «Россия – социальное государство». В чем именно тогда заключается социальность, если и образование, и здравоохранение станут недоступными для основной части населения? Официальная позиция президента Д.Медведева и министра образования и науки А.Фурсенко заключается в том, что с принятием закона о бюджетных организациях жизненно важные интересы населения не будут ущемлены. Считаю, что следить за этим должны общественные организации. Нельзя оставлять без внимания никаких мер, ухудшающих положение в образовании.

Пока трудно сказать, как быть вузам, если школьное образование все же станет платным. Это вопрос завтрашнего дня. Проблему нельзя решить заранее, время расставит все по своим местам и подскажет выход из создавшейся ситуации.

7. Что бы пожелали молодым людям, которые избирают для себя путь в науку? Куда поступать школьникам? К чему себя готовить молодым ученым?

Развивайте в себе трудолюбие, чувство ответственности. Они обеспечат успех в любой сфере деятельности. А творческий человек, у которого сильная база знаний и который интересуется наукой, проявит себя в разных областях. В какой именно его ждет наибольшей успех, зависит от того, куда он окунется, куда влезет с головой. Старайтесь вырабатывать собственный взгляд на все, с чем сталкиваетесь; для научного работника еще важно уметь сомневаться. Если ты многого достигнешь своим трудом, это почти всегда признают другие специалисты. Конечно, далеко не всегда путь в науку получается гладким. Подчас молодые ученые наталкиваются на стену недоверия, особенно если их идеи оригинальны. Тогда приходится бороться и за себя, и за свой результат. Но «пробивать», удовлетворять свои амбиции надо не в ущерб научной деятельности. Граница между естественным честолюбием и тщеславием очень зыбка. Самоутверждение через должности, научные степени, карьерный рост не должно стать самоцелью. Интерес, любовь к своему делу, труд, труд – вот, что первично и важно, вот что обеспечит успех и уважение. Помните, что говорил о себе Д.И.Менделеев: «Какой же я гений? Работал много...»

Нанотехнология обеспечения «кальциевого здоровья» нации

И.В.Мелихов

Мелихов Игорь Витальевич – чл.-корр. РАН, д.х.н., профессор МГУ



Технологическое обеспечение производства и медицинского использования нанодисперсных веществ, регулирующих минеральный обмен в организме человека

В настоящее время Россия испытывает острый дефицит в лекарственных веществах и пищевых добавках, содержащих кальций. Дефицит кальция приводит к тому, что ежегодно в России около 1 млн. человек заболевает болезнями, связанными с недостатком кальция, причем их число с 2000 года увеличилось с 26 млн. до 33 млн. Сейчас в России 75% детей до 10 лет страдает остеопенией, 49% россиян до 16 лет и 10,5 млн. россиян старше 50 лет болеют остеопорозом. Как видно, проблема оздоровления населения России непосредственно связана с ликвидацией кальциевого дефицита.

О масштабах кальциевого дефицита можно судить по тому факту, что, согласно данным диетологов, каждый россиянин сейчас, в среднем, получает около 30% от необходимого ему количества кальция. А это означает, что Россия должна производить и ввозить около 70 тыс.тонн/год веществ, содержащих кальций, причем среди них не менее 6 тыс.тонн/год высокотехнологичных продуктов для лечения остеопороза, 5 тонн/год дорогостоящих композитов для стоматологии и 2,5 тонн/год стимуляторов регенерации костной ткани для лечения 0,5 млн. россиян, ежегодно обращающихся в больницы в связи с травмами. В настоящее же время Россия производит и ввозит не более 10% от необходимого количества кальция. При этом используется, в основном, продукция иностранных фирм, в результате чего Россия впала в «кальциевую» зависимость от зарубежной фармакопеи. Все это указывает на необходимость коренных изменений в разработке и производстве российских кальциевых препаратов.

Пути решения проблемы. Для решения проблемы представляется целесообразным:

1. Провести ускоренную модернизацию действующих российских производств лекарств и пищевых добавок, содержащих кальций, и организовать производство этих продуктов по наукоемким технологиям, включая нанотехнологии.
2. Осуществить поиск новых лекарственных форм и способов введения кальция в организм, обеспечивающих повышенную усвояемость кальция организмом, организовать производство таких форм.

Оба пути пока не обеспечены соответствующими технологиями, но опыт их создания в России имеется. Это показала разработка материала для костной хирургии «Остим», отмеченного рядом наград на международных выставках. и создание бипористой керамики для имплантантов. В России разработана методология поиска оптимальных технологии лекарственных средств при минимальных затратах на исследования. Поэтому целесообразно развернуть у нас исследовательские и проектные работы с целью выявления и реализации возможности сокращения объема необходимого производства кальций-содержащих веществ за счет улучшения их «качества».

Работы по модернизации действующих производств предполагают поиск ответа на вопрос, могут ли производящие предприятия, не прерывая выпуска продукции, изменить технологию так, чтобы сделать продукты более усвояемыми организмом человека. Чтобы ответить на данный вопрос, придется провести физико-химические исследования связи свойств продуктов с изменениями в технологии их производства (физико-химическая стадия) и биологические

исследования влияния этих изменений на клеточные культуры и другие имитаты тканей человека (биологическая стадия). При положительном ответе придется изменить технологию так, чтобы продукция была максимально приближена к требованиям организма, т. е. была биооптимизирована (химико-технологическая стадия). Каждая из указанных стадий представляется наукоемкой, но, используя опыт российских химиков-технологов, ее можно пройти относительно быстро.

Работы по поиску новых лекарственных форм целесообразно провести в три этапа.

- На первом этапе следует изучить кинетику взаимодействия различных форм кальций-содержащих веществ с биологическими тканями, ответственными за поступление кальция в организм человека через желудочный тракт, дыхательные пути, кожный покров и путем инъекций (медико-биохимический этап).
- На втором этапе предстоит разработать методы получения наиболее эффективных биооптимальных форм и технологию их применения, разработать конструкции аппаратов для их промышленного производства; наработать и испытать продукты (химико-технологический этап).
- На третьем этапе целесообразно изучить влияние теплового, акустического и электромагнитного полей и разработать оптимальные режимы сочетания ввода кальция в организм с физиотерапевтическим воздействием. Разработать аппаратуру для реализации сочетанного ввода кальция и наложения поля (физиотерапевтический этап).

Ожидается, что в результате указанных работ удастся увеличить процент усвоения кальция организмом от 20-40%, что наблюдается сегодня, до 90-95 %, а это приведет к снижению предлагаемого объема производства кальций-содержащих веществ втрое.

Первоочередные работы предлагается проводить в следующих направлениях.

I. Разработка топохимической технологии «гибкого производства» кальций-содержащих веществ.

Российские химики разработали метод синтеза необходимых для ликвидации кальциевого дефицита веществ путем топохимического превращения кристаллов одного вещества в нанокристаллы других веществ (топохимический синтез). В связи с этим была выдвинута идея «гибких производств» соединений кальция в форме суспензий, паст и порошков, пригодных для введения в организм, с помощью топохимического синтеза. Для реализации этой идеи необходимо разработать технологии получения биооптимальных продуктов, обеспечивающих заданную скорость усвоения кальция. Затем следует найти конструкцию аппаратов, в которых наночастицы могли бы изменять свойства в пределах, удовлетворяющих требованиям всех маршрутов поступления. Тогда, изменяя режим работы аппаратов, можно получать продукты для всех маршрутов на одной линии аппаратов. Ожидается, что, реализуя идею «гибкого производства», можно резко сократить расходы на ликвидацию дефицита кальция.

II. Технологическое обеспечение регулирования минерального обмена и антисептического действия кальций-содержащих веществ внешними полями.

Российскими химиками предложен ряд способов получения микрогранулированного высокопористого композита, из гранул которого может поступать коллоидный или молекулярный раствор кальция. При этом интенсивность поступления можно варьировать, налагая на микрогранулы акустическое поле. Появилась возможность создания из микрогранул соночувствительных тел, являющихся дистанционно-управляемыми источниками кальция, обладающими антисептическим действием. Данные работы могут быть продолжены с целью разработки:

- Материалов и аппаратов для гемодинамической коррекции состава крови и сонодинамической активации тел кровотока с помощью гидроксипатитных сверхпористых фильтров.
- Технологии получения антисептических соночувствительных аппликаторов и мазей, не содержащих антибиотики.

При этом предполагается изучить взаимодействие микрогранул гидроксипатита с компонентами кровотока и микробами и найти оптимальные условия фильтрации и действия антисептиков.

III. Создание новых материалов для костной хирургии и лечения остеопороза.

У российских исследователей имеется опыт создания уникальных кальций-содержащих материалов для костной хирургии (препарат «Остим», бипористая керамика). Этот опыт является основой для создания материалов нового поколения, удовлетворяющих современным требованиям хирургов и больных остеопорозом. Для создания таких материалов целесообразно:

1. Изучить закономерности формирования и разрушения коллаген-гидроксипатитных структур, имитирующих костную ткань, в акустическом поле и в присутствии лекарственных веществ. Выявить закономерности взаимодействия клеток костной ткани с нанокристаллами гидроксипатита.
2. Создать коллагено-гидроксипатитный материал, способный формировать пространственные текстуры в дефектной костной ткани. Разработать и реализовать технологию получения такого материала применительно к костной хирургии и лечению остеопороза.

IV. Разработка материалов и технологии «гибкого» производства костных имплантантов и биокерамики.

Практика показала, что материалы, которые сейчас используются для создания покрытий на имплантантах, и технология нанесения покрытий, нуждаются в совершенствовании. В России развивается ряд подходов к новым способам нанесения, которые целесообразно оптимизировать, учитывая, что имплантант для каждого больного желательнее изготавливать персонально.

Для этого необходимо:

1. Изучить закономерности адгезии кристаллов гидроксипатита на исходной и модифицированной поверхности имплантанта; найти условия срачивания адгезированных кристаллов друг с другом с образованием покрытия аналогичного натуральной костной ткани; исследовать взаимодействие клеток ткани с покрытием.
2. Разработать технологию гибкого производства имплантантов, предполагающую возможность варьирования их конфигурации и размера при сохранении оптимальных условий нанесения покрытий; сконструировать аппараты для гибкого производства.

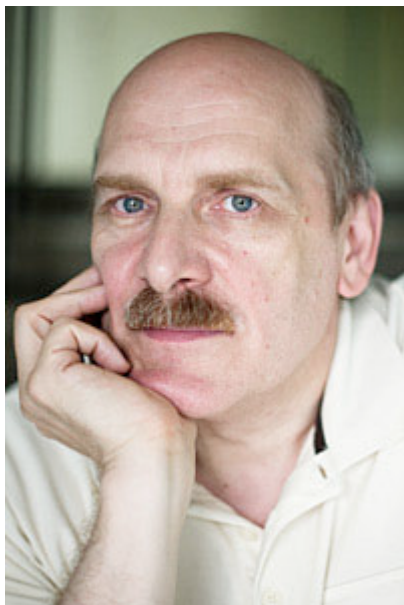
Данная программа исследований предполагает паритетное участие в работе медиков, биологов, химиков, математиков и технологов с распределением задач по разным лабораториям. При этом время решения перечисленных задач может быть сокращено, если все работы будут проводиться по одной методической схеме и единому плану, предполагающему взаимное дополнение результатов, полученных разными исполнителями. Для этой работы необходимо иметь специальное финансирование, которое, учитывая важность проблемы и методическую подготовленность ее решения, должно носить характер Госзаказа. При достаточном финансировании, обеспечивающем параллельную работу 15-20 лабораторий, все направления поиска должны привести к кардинальным результатам через 4-5 лет работы. За это время будет создана технологическая основа российского производства широкого ассортимента регуляторов кальциевого обмена, медикаментов и способов лечения остеопороза и костных дефектов. А, так

как созданные технологии будут оптимизированы на основе данных о поведении клеток и тканей, то можно ожидать, что продукты производства будут максимально эффективны и безопасны.

Как увидеть наномир, не выходя из дома?

И.В. Яминский

Яминский Игорь Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор МГУ



В пятницу, 26 февраля 2003 года ближе к вечеру студенты физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова Д.И. Черниченко, А.М. Самойлов, С.С. Голубев и Т.И. Малашенко обработали результаты эксперимента и готовы были к их сдаче. Их ожидал преподаватель, аспирант того же факультета – Евгений Владимирович Дубровин. Так в этот вечер заканчивалось занятие в физическом практикуме. Все было бы вполне обычно и буднично, если бы не одно но. Состояло оно в том, что в этот день было все новым и непривычным. Новым был и сам практикум, и сложный научный прибор, на котором проводились измерения, и сама лабораторная работа, которую выполняли студенты.

Практикум расположился на кафедре высокомолекулярных соединений в помещении 6-19 на шестом этаже Лабораторного корпуса А МГУ. Оборудование практикума состояло из многофункционального сканирующего зондового микроскопа «ФемтоСкан» и 6-ти компьютеров, объединенных в общую сеть.

Целью лабораторной работы было изучение структуры тонкой полимерной пленки, образованной блоксополимером полибутadiен-полистирол. Молекула выбранного полимера состоит из двух блоков - полибутadiенового и полистирольного, и поэтому называется блоксополимером. Если взять два полимера полибутadiен и полистирол и попытаться получить из них однородную смесь, то этого не получится. Два этих материала несовместимы и не смешиваются. Но можно сделать забавный трюк. Химически пришить полибутadiен и полистирол, так что получится единая молекулярная цепочка, одна часть которой состоит из полибутadiена, а другая – из полистирола. Части несовместимы, но вынуждены находиться вместе. Как соседи на коммунальной квартире. Что из этого обычно происходит с соседями, мы все хорошо знаем. А с частями молекулы? Оказывается, что части молекулы – бутadiеновая и стирольная – пытаются оказаться в разных местах пространства. В результате в пленке блоксополимера получают чередующиеся бутadiеновые и стирольные области. Размер областей составляет десятки нанометров. В химии этот процесс называется нанофазной сегрегацией. Возвращаясь к упомянутым в рассказе студентам, приятно отметить, что все они в этот вечер получили отличные оценки. Преподаватель Е.В. Дубровин был доволен отчетами студентов и работой самого практикума.

Наблюдательный читатель резонно спросит, а как же четыре студента выполняли работу на одном приборе? Не слишком ли много было участников для одного эксперимента? Вот тут мы подошли к кульминационной точке нашего рассказа и необходимо немного остановиться на описании прибора и того, кто и как его построил. Для этого надо вернуться на тринадцать лет назад – в 1990 год. Именно в этом году в Центральном административном округе г. Москвы было зарегистрировано малое научно-производственное предприятие «Центр перспективных технологий». Ровно с одной задачей – разрабатывать, создавать и производить сканирующие зондовые микроскопы. С таким основным профилем оно сумело преодолеть и обвал 1992 года и последующие трудные годы. Пережило дефолт 1998 года и многие рухнувшие в тот год предприятия. Медленно и трудно, но неуклонно и постепенно оно выживало и развивалось. А в 2008 году сумело увеличить годовой оборот почти в три раза. Еще в 1999 году Центр перспективных технологий начал выпуск новой и уникальной модели сканирующего зондового

микроскопа «ФемтоСкан». Основное и главное отличие этого микроскопа от всех остальных сканирующих зондовых микроскопов состояло в **возможности управлять им дистанционно, через Интернет**. Как сразу стало ясно, это великое преимущество не столько для удаленного технического обслуживания, сколько для применения в обучении студентов, аспирантов и всех, кто интересуется зондовой микроскопией. Эту разработку с большим энтузиазмом поддержал заведующий кафедрой высокомолекулярных соединений химического факультета МГУ академик РАН В.А.Кабанов. Энергичная поддержка пришла и от Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. В то время его руководитель, Иван Михайлович Бортник, лично приехал на химический факультет МГУ, все посмотрел своими глазами, поговорил со всеми действующими лицами и убедился, что разработка стоящая и серьезная. Так в 2003 году за номером 1837р/3679 от 03 февраля 2003 года появился проект на выполнение опытно-конструкторской работы «Разработка технологии открытого экспериментального лабораторного Интернет-практикума для высшего и среднего образования». Основным результатом этого проекта стал действующий практикум, в котором экспериментальное обучение проходят студенты естественных факультетов МГУ. Как проходят занятия? Преподаватель настраивает микроскоп, ставит образец, осуществляет начальное сближение зонда с образцом. Все остальное – выбор параметров сканирования и само сканирование выполняют сами студенты по очереди. При чем, когда один студент сканирует поверхность образца, все данные поступают через сеть Интернет на компьютеры других студентов. И эти студенты, не тратя зря время, могут заниматься обработкой экспериментальных данных. А задач, которые им предстоит решить, много. Необходимо оценить процентное содержание различных фаз в полимере. Определить, сколько бутадиена и сколько стирола. Измерить упругие свойства тонкой пленки, определить модуль Юнга для локальных бутадиеновых и стирольных областей. Исходя из наблюдений, оценить длину цепочки одной молекулы блоксополимера.

Можно ли сейчас говорить, что все, что сказано выше – это пример полноценного дистанционного обучения? Хочется ответить – Да, конечно! Но правильный, продуманный и взвешенный ответ другой. Это очень важные, но только самые первые шаги. Чтобы Интернет-практикум заработал автономно и дистанционно, необходимо сделать многое. О достижениях, результатах, проблемах и концепции развития разговор шел на многих конференциях и симпозиумах (Список 1). В настоящее время нами создана техническая база Интернет-практикума. Её основа – многофункциональный микроскоп «ФемтоСкан», который стал первым в мире сканирующим зондовым микроскопом с полным управлением через сеть Интернет. Однако для организации полноценного Интернет-обучения зондовой микроскопии необходима дополнительная и существенная разработка методологии. Что нужно сделать для Интернет-образования в зондовой микроскопии? Неполный список задач, которые предстоит нам решить, приведен здесь. (Список 2)

Говоря о проекте, можно утверждать, что это удачный пример сотрудничества образовательного учреждения – МГУ им. М.В. Ломоносова, государственного фонда – ФС МФП НТС – и малого инновационного предприятия. Основной итог – новые возможности в обучении студентов новым аналитическим методам исследования материи – методам сканирующей зондовой микроскопии. Шестой год подряд в практикуме идут занятия со студентами. И получают они новые экспериментальные навыки. И оценки студенты получают разные, но в основном хорошие и отличные. С 2005 года в помещении практикум начались и лекционные занятия «Введение в экспериментальную нанотехнологию». Благодаря фонду, руководимому в течение 15-лет И.М.Бортником, а теперь возглавляемому С.Г. Поляковым, был дан сильный импульс развитию дистанционных методов в наноскопии.

В нашем рассказе было три участника – Московский университет, Фонд содействия и Центр перспективных технологий. Каждый делал свое дело. Один обучал, другой помогал, третий строил. На Руси число три, триединение, троика имели всегда особое значение.

Вместо заключения, хочется спросить, есть ли шанс у Российской технологии на бурное и непреодолимое развитие? И просится ответ «Да». При честном, открытом и энергичном участии всех возможных сторон. И обязательно, при мудрости.

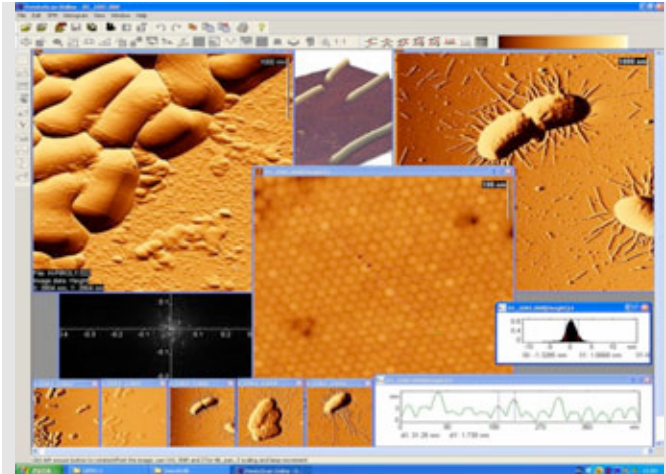
Список 1. Сканирующая зондовая микроскопия через Интернет. Разговор об этом шел на российских и международных конференциях:

1. I. Yaminsky, D. Yaminsky, A. Filonov. Nanoscopy Education Programs at Advanced Technologies Center. International Conference on Nano Science and Technology (ICN+T 2007), Stockholm, Sweden, July 2-6, 2007, EDU03-Or05.
2. Яминский И.В. Дистанционное образование в области экспериментальной физики полимеров. // Четвертая Всероссийская Каргинская конференция "Наука о полимерах 21-му веку". Москва, МГУ, 29 января - 2 февраля 2007 года. Тезисы устных и стендовых докладов, том 3, с. 28
3. И.В. Яминский. Новые возможности зондовой микроскопии. Первая Всероссийская школа-семинар "Современные достижения бионаноскопии". Сборник тезисов. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. 11-17 июня 2007 года, Москва. с.18.
4. Яминский И.В., Киселев Г.А., Филонов А.С. Аппаратура и методы наноскопии для биологии и медицины. // Московская Международная Конференция "Биотехнология и медицина". Материалы конференции. Москва, Россия, 14-17 марта 2006, с.21.
5. Яминский И.В. Открытое экспериментальное образование в области наноскопии полимеров: Возможности и достижения. // Третья Всероссийская Каргинская Конференция "Полимеры - 2004". Тезисы устных и стендовых докладов. Москва, МГУ. Том 1, с. 196 (2004).
6. Bolshakova A.V., Filonov A.S., Gallyamov M.O., Gavrilko D.Yu., Dubrovin E.V., Kiselyova O.I., Lomonosov A.M., Meshkov E.B., Yaminsky I.V. Open experimental internet practical studies in nanoscopy of polymers. //SPMP-2003. Book of abstracts. Rolduc Abbey, Conference Center, Kerkrade, The Netherlands, 15-18 July 2003. P.82.
7. Bolshakova A.V., Filonov A.S., Gallyamov M.O., Gavrilko D.Yu., Dubrovin E.V., Kiselyova O.I., Lomonosov A.M., Meshkov E.B., Yaminsky I.V. Open experimental internet practical studies in nanoscopy. //Proceedings of International Workshop "Scanning Probe Microscopy - 2003", Nizhny Novgorod, March 2-5, 2003, pp. 57-61.
8. А.В.Большакова, И.В. Яминский Лабораторная работа "Сканирующая зондовая микроскопия бактериальных клеток" в рамках Интернет-практикума по зондовой микроскопии кафедры ВМС химического факультета МГУ // Электронная конференция "Российские Интернет-ресурсы по химии, биологии и медицине; их развитие и применение в образовании, науке и малом наукоемком бизнесе". 2002.
9. А.В. Большакова, Д.Ю. Гаврилко, М.О. Галлямов, Е.В. Дубровин, О.И. Киселева, Г.Б. Мешков, А.С. Филонов, И.В. Яминский Лабораторный Интернет-практикум по сканирующей зондовой микроскопии // Электронная конференция "Российские Интернет-ресурсы по химии, биологии и медицине; их развитие и применение в образовании, науке и малом наукоемком бизнесе". 2002.
10. Филонов А.С. Интернет-лаборатория сканирующей зондовой микроскопии // Сборник докладов 5-го Белорусского семинара по сканирующей зондовой микроскопии, 7-8 октября 2002 г., ИФТТП НАН Беларуси, Минск, 2002, 33-34.
11. Яминский И.В., Филонов А.С., Люлевич В.В., Шишлова А.В., Киселева О.И., Большакова А.В., Галлямов М.О. Образовательные программы в области наноскопии и нанотехнологии // Съезд российских физиков-преподавателей "Физическое образование и XXI веке", тезисы докладов, Москва, 28-30 июня 2000, С.174
12. Яминский И.В., Филонов А.С., Большакова А.В., Шишлова А.В. Образовательные программы в области зондовой микроскопии// Материалы Всероссийского совещания "Зондовая микроскопия-99", Нижний Новгород, 10-13 марта 1999, сс. 352-356.

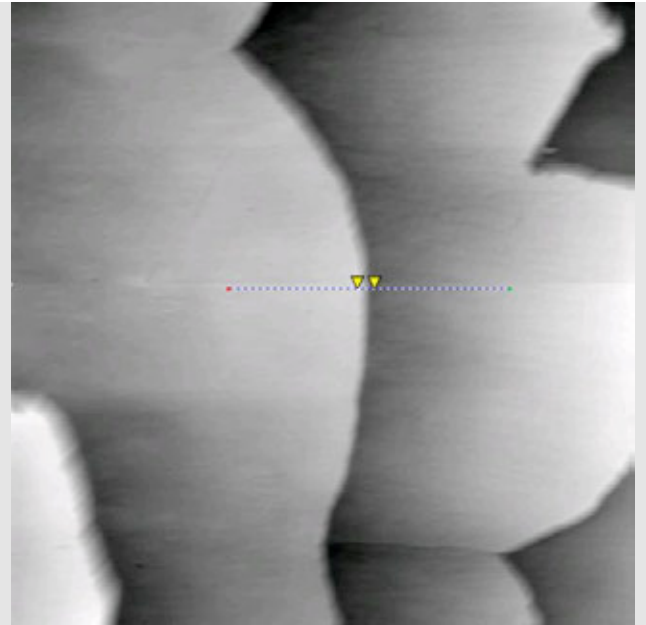
Список 2.

1. Регистрация пользователей, ведению «судового» журнала, составлению расписания – требуется адаптировать имеющееся или разработать новое программное обеспечение.
2. Проверка уровня знаний и квалификации пользователя – надо создать систему интерактивного экзаменатора.

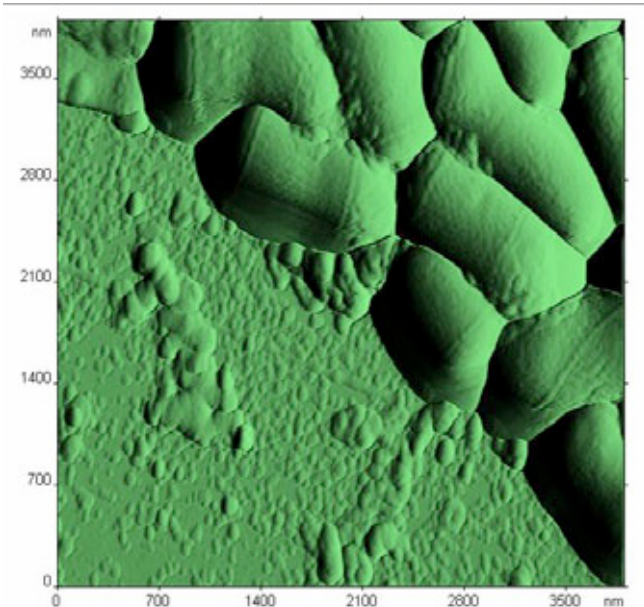
3. Допуск к дистанционному эксперименту – следует разработать интеллектуальный центр принятия решений, который будет выносить свой вердикт.
4. Онлайн контроль над действиями удаленного оператора микроскопа – полезно иметь систему мониторинга и оценки проводимых действий, выбора режимов и параметров сканирования и т.д.
5. Система защиты от несанкционированных действий, умыслов хакеров и пр. – полезно использовать как стандартные, так и оригинальные методы.
6. Информационные ресурсы и обучающая среда – их разнообразие и полнота будут только способствовать эффективности дистанционного обучения.



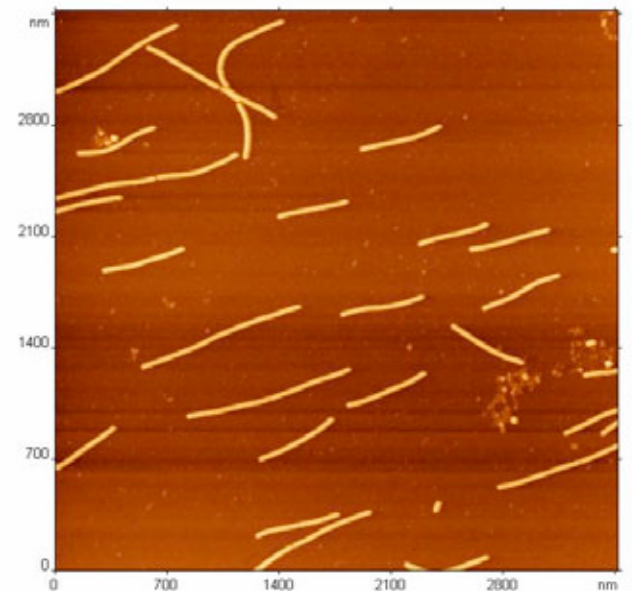
Рабочее окно программы "ФемтоСкан Онлайн".
Все экспериментальные данные в онлайн режиме на экране Вашего монитора.



Так выглядит в микроскоп фрагмент человеческого волоса. Есть и такое практическое занятие на зондовом микроскопе. Студент изучает свой волос. Если изучать свой волос, то дистанционный режим не обязателен.



Бактерии *Helicobacter pylori* лучше наблюдать в микроскоп с удаленным управлением. Утверждают, что они могут быть возбудителем язвенной болезни



Вирус картофеля. У картошки тоже бывают вирусные заболевания. Хорошо, что для человека вирус картофеля абсолютно не опасен

Обеспечение единства измерений физико-механических и трибологических свойств наноструктурированных поверхностей

Е.А. Левашов



Левашов Евгений Александрович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий, директор Научно-учебного центра СВС МИСиС-ИСМАН, Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов»

ФГОУ ВПО «Государственный технологический университет, «Московский институт стали и сплавов», Москва 119049, Ленинский проспект, 4

В последние годы ведущими производителями научно-исследовательского оборудования были разработаны высокоточные приборы, предназначенные для количественного измерения и комплексной интерпретации физико-механических и трибологических свойств наноструктурированных поверхностей объемных материалов и покрытий на микро- и наноуровне. Эти методы широко используются за рубежом, что усиливает конкурентные преимущества иностранных разработчиков и изготовителей наноматериалов, в том числе тонкопленочных материалов.

В ряде российских организаций имеется современное зарубежное и отечественное оборудование, позволяющее проводить комплексные прецизионные измерения механических и трибологических свойств наноструктурированных поверхностей.

В рамках Федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008-2010 годы», в настоящее время проводятся работы по созданию метрологического комплекса и нормативно-методической базы для обеспечения единства измерений механических и трибологических свойств наноматериалов и продукции наноиндустрии. Это позволит использовать современные достижения мировой науки и техники для всестороннего анализа создаваемых в России наноматериалов и покрытий, разработки единых стандартов, эталонов и подготовительных процедур, регламентирующих проведение испытаний, без которых невозможно корректно сравнивать результаты, полученные в различных научных коллективах.

Ключевым вопросом к коммерциализации функциональных наноструктурированных покрытий и поверхностей изделий наноиндустрии является создание нормативно-методического и стандартизационного обеспечения единства измерений физико-механических и трибологических свойств.

Для этого требуется выполнить следующий комплекс работ:

- Разработать методы и средства обеспечения единства измерений физико-механических и трибологических свойств наноструктурированных поверхностей, а именно: твердости, модуля упругости, упругого восстановления, адгезионной прочности, коэффициента трения, величины износа, предела выносливости (количество циклов до разрушения), топологии поверхности, определяющих служебные характеристики продукции наноиндустрии;
- Создать средства калибровки – стандартные образцы, аттестуемые на измерительном комплексе;

- Создать метрологический комплекс на основе методов наноиндентирования, измерительного царапания, ударно-динамических и трибологических измерений, оптической и контактной профилометрии;
- Выполнить требования взаимного признания результатов измерений и калибровки в соответствии с СМС.
- Обобщить практические результаты наноиндентирования, склерометрии, скратч-тестирования, циклических ударно-динамических, трибологических испытаний наноструктурированных поверхностей наиболее типичных коммерциализуемых материалов и покрытий;
- Разработать стандарты, регламентирующие проведение испытаний;
- Разработать практические рекомендации по измерению твердости, модуля упругости, упругого восстановления, сопротивления пластической деформации, сопротивления упругой деформации разрушения, вязкости разрушения и их влияние на поведение материала в процессе трения и износа;
- Разработать комплекс нормативно-технических документов по обеспечению единства измерений, выполняемых с помощью измерительного комплекса.
- Провести аккредитацию испытательных лабораторий по изучению физико-механических и трибологических свойств наноструктурированных поверхностей функциональных материалов и покрытий с целью оказания услуг на рынке высокотехнологичной наукоемкой продукции;

Выше упомянутый метрологический комплекс должен обеспечить измерение характеристик поверхности продукции наноиндустрии в следующем диапазоне значений и неопределенности измеряемых физических величин:

- топология поверхности с разрешением по вертикали 0,1-1 нм и неопределенностью 0,1 нм;
- твердость в диапазоне 0,1 - 100 ГПа с неопределенностью 0.01 ГПа, латеральным разрешением 80 нм и разрешением по вертикали 0,3 нм;
- модуль упругости - 10 - 1000 ГПа с неопределенностью 0,1 ГПа, латеральным разрешением 80 нм и разрешением по вертикали 0,3 нм;
- упругое восстановление - 0 – 100% с неопределенностью 0.5%, латеральным разрешением 80 нм и разрешением по вертикали 0,3 нм
- адгезионную прочность - 1 – 200 Н с неопределенностью 0,1 Н, латеральным разрешением 80 нм и разрешением по вертикали 0,3 нм для пленок толщиной более 15 нм
- коэффициент трения в диапазоне 0.01 – 1 с неопределенностью 0,005 для пленок толщиной более 30 нм;
- износ - 10^{-2} - 10^{-10} мм³Н⁻¹м⁻¹ с неопределенностью $0.5 \cdot 10^{-10}$ мм³Н⁻¹м⁻¹
- предел выносливости (количество циклов до разрушения при нагрузке 150, 1300 Н с неопределенностью 0.01 Н) с латеральным разрешением 80 нм и разрешением по вертикали 0,3 нм

При этом с помощью метрологического комплекса производится аттестация всех трех типов наноструктурированных поверхностей:

- пленок и покрытий толщиной менее 100 нм;
- многослойных пленок и покрытий с толщиной слоя 1-50 нм;
- пленок, покрытий и поверхностей объемных наноматериалов с размером кристаллитов менее 100 нм.

Современные методы и средства обеспечения единства измерений физико-механических и трибологических свойств наноструктурированных поверхностей

В основе рассматриваемых методов лежит аналитическое решение так называемой «задачи Герца» (1882 г.) [1] о взаимной деформации двух твердых шаров при их сжатии, которая подробно рассмотрена в [2]. Труды Герца послужили основой для развития теории и методов определения

твердости. Измерение твердости широко используется в науке и технике, хотя до сих пор ведется дискуссия о физическом смысле этой величины и корректных способах ее оценки [3-4]. Под твердостью понимается свойство поверхностного слоя оказывать сопротивление упругой и пластической деформации (или разрушению) при местных контактных воздействиях со стороны другого, более твердого тела (индентора), имеющего определенную форму и размер [5].

Использование модели Герца для описания взаимодействия индентора и образца считается корректным в том случае, когда поверхностные силы пренебрежимо малы по сравнению с суммарными силами взаимодействия, а радиус площади контакта существенно меньше радиуса индентора. Именно эти условия лежат в основе рассматриваемых методов оценки функциональных свойств поверхностных слоев. Они реализованы в измерительных установках фирмы CSM (Швейцария) [6], разработанных в последние годы.

Современные методы изучения отклика поверхности на механический контакт с индентором (контртелом) представлены в таблице 1. Они включают в себя следующие этапы: непосредственно испытание с записью экспериментальных данных в реальном времени управляющим компьютером; последующий анализ данных, полученных при испытании, и изучение «следов» механического контакта при использовании оптической, зондовой, электронной микроскопии, контактной и бесконтактной профилометрии.

Табл. 1. Методы изучения поверхности в условиях механического контакта с индентором (контртелом)

Схема механического контакта «образец – контртело»	Вдавливание	Царапание	Скольжение
Параметры, измеряемые в реальном времени	Нагрузка – глубина погружения	Нагрузка перемещение глубина погружения	– Коэффициент трения - – перемещение под – постоянной нагрузкой
Рассчитываемые свойства	Твердость Модуль упругости Упругое восстановление	Твердость (Моос) Адгезионная/ когезионная прочность Стойкость царапанию	Износостойкость «Время жизни» покрытий

В методах вдавливания и царапания используют индентор, изготовленный из алмаза, а правильность его геометрии и свойств проверяется путем калибровки перед испытанием. При испытаниях по схеме «скольжение» контртело можно считать индентором лишь условно, поскольку его изготавливают не из сверхтвердого материала - алмаза, а из требуемого материала (сталей, керамик, твердых сплавов и др). Такое контртело заметно упруго деформируется под нагрузкой, а также истирается при проведении испытания, что приводит к изменению его геометрии. Однако модель Герца позволяет рассчитать [7] начальные напряжения («напряжения Герца»), возникающие в паре «образец – контртело» перед началом испытания. Это важно для понимания того, насколько материал выбранного контртела и нагрузка соответствует условиям, в которых находится реальная пара трения.

ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ИНДЕНТИРОВАНИЕ

В последние годы для определения твердости и модуля упругости поверхностных слоев все шире используется метод непрерывного измерительного индентирования (ИИ) [8]. Следует отметить,

что основы этого метода были разработаны в 1960-70 гг. в СССР, где он был более известен как метод «кинетической твердости» [9]. Однако широкое распространение метод получил после публикаций американских ученых Оливера и Фарра [8] и стал всемирно известен под именем этих авторов. Метод Оливера-Фарра состоит в подборе параметров степенной функции, описывающей экспериментальную зависимость глубины погружения индентора (h) и площади контакта от приложенной нагрузки (P), и расчете твердости (H) и модуля Юнга (E) по этим данным. Значения твердости рассчитывают как отношение максимальной нагрузки к площади проекции восстановленного отпечатка, а модуль упругости определяют исходя из площади проекции отпечатка, контактной жесткости $S=dP/dh$, рассчитываемой из наклона верхней трети кривой разгрузки, задаваемого коэффициента Пуассона, а также параметров индентора.

Размер отпечатка определяют по максимальной глубине погружения индентора h_m , принимая, что алмазный индентор совершенно не деформируется при индентировании. Таким образом, в методе ИИ твердость определяется как в методе Роквелла, но без предварительного нагружения индентора, исходя из глубины восстановленного отпечатка. В этом состоит основное отличие ИИ от методов измерения твердости, предложенных Виккерсом и Бринелем, в которых визуально измеряются параметры восстановленного отпечатка: диагональ или диаметр соответственно.

При внедрении индентора вблизи области контакта создается сложное напряженное состояние, близкое к всестороннему сжатию, а деформация, распространяющаяся вглубь материала, имеет как упругую (обратимую), так и пластическую (необратимую) составляющую. Благодаря этому при ИИ можно получить информацию о твердости, модуле Юнга, а также оценить долю упругой составляющей в общей деформации, которую характеризует упругое восстановление $R=(h_m-h_f)/h_m$, где h_m – наибольшая глубина погружения, h_f – глубина после снятия нагрузки.

Метод измерения твердости по площади восстановленного отпечатка был разработан в начале XX века применительно к металлическим поликристаллическим сплавам, для которых упругое восстановление составляет не более 10-20%. В материалах с более высокой долей упругой деформации этот метод приводит к завышенным значениям твердости [2-3]. Высокое упругое восстановление проявляется в уменьшении размеров отпечатка при снятии нагрузки. Поэтому для материалов с высоким значением R нельзя определить твердость корректно, используя традиционные методы измерения диагонали отпечатка.

Традиционные методы определения твердости также не годятся для изучения твердых и сверхтвердых материалов и покрытий, поскольку в случае небольших нагрузок размер отпечатка настолько мал, что часто его невозможно наблюдать в оптический микроскоп, а большие нагрузки вызывают образование трещин. Метод ИИ позволяет успешно определять твердость, модуль Юнга и упругое восстановление как сверхтвердых, так и мягких материалов, используя малые нагрузки (несколько мН).

Согласно ASTM E 2546-07, Измерительное индентирование - испытание вдавливанием, при котором сила, приложенная к индентору и получающееся в результате этого перемещение индентора вглубь образца, записываются в процессе нагружения и разгрузки и служат для последующих вычислений значений твердости по вдавливанию и модуля упругости по выдавливанию.

Возможности метода ИИ продемонстрированы на рисунке 1 и в таблице 2, из которых видно насколько различаются свойства объемных поликристаллических металлов, монокристаллов, квазикристаллических материалов, металлических стекол и наноструктурных пленок. Сопоставляя результаты ИИ, можно заметить, что упругое восстановление для нанокристаллической пленки TiSiN и монокристалла кремния по крайней мере в 3 раза, а для металлического стекла ZrCuNiTi и квазикристаллов AlCuFe в 2 раза выше, чем для поликристаллической меди и титанового сплава OT4-1. Металлическое стекло Zr-Cu-Ti-Ni также отличается низким значением модуля Юнга.

Нанотвердомер конструктивно объединяет прецизионный твердомер и оптический микроскоп, которые используют один и тот же предметный столик с программируемым цифровым

моторизованным приводом. Процесс перемещения в горизонтальной плоскости (позиционирование) и в вертикальной плоскости (измерение) управляются персональным компьютером с использованием прецизионных датчиков и создание программного обеспечения с весьма высокой точностью. Например, как видно из таблицы 3, прибор Nano-Hardness Tester фирмы CSM (Швейцария) позволяет проводить индентирование той области, которая была выбрана при наблюдении в оптический микроскоп, при точности позиционирования значительно меньше микрона.

Табл. 2. Свойства материалов и покрытий, рассчитанные по данным измерительного индентирования

Материал	H, ГПа	E, ГПа	R, %
Медь	2.1	121	14
Титан (OT4-1)	4.1	130	19
Многослойная пленка Ti/a-C:H	8.0	128	34
Аморфная лента Zr-Cu-Ti-Ni	11.5	117	42
Кремний (100)	11.8	174	62
Тонкая PVD пленка Ti-Si-N	28.4	295	62
Алюминий АСД	0.72	56	7
Алюминий (АСД), дисперсноупрочненный микрочастицами квазикристаллов Al-Cu-Fe (30%)	1.9	106	14
Алюминий (АСД), дисперсноупрочненный наночастицами квазикристаллов Al-Cu-Fe (30%)	2.5	98	17
Микрочастицы квазикристаллов Al-Cu-Fe в АСД30	10.1	175	32
Квазикристалл Al-Cu-Fe (тонкая PVD пленка)	13.7	286	32

Табл. 3. Технические характеристики прибора Nano-Hardness Tester

Нагрузка(min/max)	0.1 - 300 мН
Глубина проникновения индентора (min/max)	30 нм - 500 мкм
Погрешность вертикального позиционирования индентора	0.3 нм
Шаг горизонтального позиционирования предметного столика	250 нм

Указанные характеристики прибора позволяют решать многие исследовательские задачи, среди которых можно выделить нижеследующие:

Наноиндентирование

Наноиндентирование - это процесс контролируемого внедрения калиброванного сверхтвердого наконечника определенной формы (индентора) под действием нарастающей нагрузки в плоскую поверхность образца на глубину нескольких десятков нанометров. Наноиндентирование является, частным случаем измерительного индентирования (instrumented indentation).

При использовании весьма малых нагрузок (несколько мН) метод Оливера-Фарра получил название наноиндентирования. При этом, как видно из рисунка 1, погружение индентора проходит на глубину нескольких десятков нанометров. Метод наноиндентирования незаменим при изучении тонких наноструктурированных пленок и многослойных наноразмерных структур (Табл. 2). Корректными измерениями твердости покрытий (без влияния подложки) принято считать такие измерения, при которых глубина погружения составляет не более 10-12% от его толщины [10]. Практически устойчивые экспериментальные кривые получают для глубин погружения более 25-30 нм. Поэтому наноиндентирование успешно применяют для оценки механических свойств тонких пленок толщиной нанометрового диапазона.

Избирательное индентирование

Высокая точность позиционирования позволяет также проводить индентирование отдельных микронных, субмикронных и наноструктурных составляющих, различимых в оптический микроскоп, что позволяет избирательно оценивать их механические свойства при изучении многофазных, композиционных и градиентных материалов. На рисунке 2 показано, как отличаются отпечатки на алюминиевой матрице (отпечаток 2, $H=1,6$ ГПа, $E=74$ ГПа, $R=11,9$ %) и в области скопления у прочняющих квазикристаллических частиц (отпечаток 8, $H=4,8$ ГПа, $E=92$ ГПа, $R=27,4$ %).

Оценка механических свойств многофазных и композиционных материалов. Механическая спектроскопия

Для оценки механических свойств многофазных материалов используют матричное индентирование с заданным шагом, выбранным так, чтобы отпечатки попали на разные структурные составляющие. При достаточно большом количестве независимых измерений и значимой разнице свойств отдельных структурных составляющих можно получить не только усредненные значения твердости, модуля упругости и упругого восстановления, но также количественно оценить их долю и построить карту распределения механических свойств в многофазных и композитных материалах.

ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ЦАРАПАНИЕ

Для испытаний покрытий с целью определения адгезионной/ когезионной прочности, стойкости к царапанию и определения механизма разрушения используют прибор РЕВЕТЕСТ (REVETEST, CSM Instruments), схема которого показана на рисунке 3.

На этом приборе проводят царапание изучаемой поверхности алмазным конусным индентором типа Роквелла при постоянной, ступенчато или непрерывно нарастающей нагрузке. В ходе перемещения индентора с заданной скоростью и с увеличивающейся нагрузкой, проходит запись на компьютер показаний нескольких датчиков, а именно: силы нагружения, интенсивности акустической эмиссии, силы трения, коэффициента трения, глубины царапины. Данные сохраняются на жестком диске управляющего компьютера и далее по анализу формы кривых «свойство-нагрузка» и наблюдении следов разрушения покрытия в оптический микроскоп определяют какая минимальная (критическая) нагрузка (L_c) привела к разрушению.

На рисунках 4 и 5 представлены результаты испытаний тонких PVD пленок на основе квазикристаллов системы Al-Fe-Cu. Квазикристаллическая пленка была получена на сапфировой пластине методом магнетронного распыления с последующим отжигом. Во избежание прогиба сапфировая подложка с покрытием наклеена пицеином на стальной диск. Испытания были проведены при следующих условиях: нагрузка нарастала от 0,9 до 50 Н со скоростью 10 мм/мин, длина царапины составляла 5 мм. Алмазным индентором типа «Роквелл С» с радиусом закругления 100 мкм были нанесены четыре царапины и определены усредненные значения критической нагрузки.

Условно процесс разрушения покрытия при царапании алмазным индентором можно разделить на три стадии (Рис. 4). На стадии А происходит монотонное проникновение индентора в покрытие: глубина проникновения (ГП) и коэффициент трения (КТ) слабо понижаются, сила трения (СТ) слабо повышается, сигнал а кустической эмиссии (АЭ) сохраняется неизменным. На стадии В проходит скачкообразное увеличение уровня и амплитуды АЭ, изменение наклона кривых КТ и СТ. На стадии С заметно немонотонное изменение ГП, КТ и СТ.

Сравнительный анализ структурных особенностей царапины позволяет заключить, что на стадии А (нагрузка менее 10 Н) индентор практически не оставляет следов на покрытии (Рис. 5а). Скольжение алмазного индентора по квазикристаллической пленке проходит с очень низким коэффициентом трения (менее 0,1).

Нагрузки более 10-11 Н (стадия В) приводят к появлению как шевронных трещин на дне царапины, так и диагональных трещин по ее берегам (Рис.5б). При замыкании диагональных трещин по берегам царапины наблюдаются отщепления отдельных чешуек. Образование таких трещин сопровождается ростом уровня и амплитуды сигнала АЭ, а также монотонным увеличением КТ до 0,2.

Третья стадия С связана с локальным, а затем непрерывным скалыванием подложки под давлением индентора (Рис.5в, 5г). Появление отдельных сколов покрытия сопровождается резкими всплесками кривой КТ вверх, а кривой ГП – вниз (Рис.4).

Таким образом, адгезионная прочность данной пленки составляет 11 Н. При нагрузках на индентор более 31 Н проходит локальное разрушение подложки, а нагрузка более 37 Н вызывает разрушение подложки по всей площади контакта.

ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ СКОЛЬЖЕНИИ И ИЗНАШИВАНИИ (ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ)

Трибологические испытания функциональных поверхностей по схеме «стержень-диск» (Рис. 6) проводят на автоматизированной машине трения, например, марки «TRIBOMETER», CSM Instr. [11] как на воздухе, так и при погружении в жидкую среду. Эти испытания также позволяют использовать модель Герца, они соответствуют международным стандартам ASTM G99-959 и DIN50324 и могут быть использованы для оценки износостойкости образца и контртела [12].

Непосредственно в процессе испытаний определяют коэффициент трения трущейся пары. Контртело в виде шарика изготавливают из сертифицированного материала (Табл. 4). При испытании шарик фиксируют в держателе из нержавеющей стали, который передает ему заданную нагрузку и связан с датчиком силы трения.

Табл. 4. Условия испытаний на установке «TRIBOMETER»

Контртело	Шарик диаметром 3мм
Материал контртела	Стали, Al ₂ O ₃ , Si ₃ N ₄ , WC-Co, и др.
Нормальная нагрузка	1-10 Н
Радиус кольца износа	3-30мм
Линейная скорость	0.01-50 см/с
Среда испытания	Воздух или жидкость

Важную информацию о механизме разрушения покрытия дает анализ продуктов износа, строение бороздки износа (на образце) и пятна износа (на контртеле - шарике). Для этого применяют

микроскопические наблюдения и измерения профиля бороздки износа. Стрoение бороздок износа (на дисках) и диаметр пятен износа (на шариках) наблюдают в оптический микроскоп AXIOVERT CA25 (Karl Zeiss) при увеличении $\times(100-500)$ и стереомикроскоп МБС-10 (ЛЗОС) при увеличении $\times(10-58)$. Измерения вертикального сечения бороздок износа проводят на профилометре SURFTEST SJ-402 (Mitutoyo) в четырех диаметрально и ортогонально противоположных областях и определяют среднее значение площади сечения и глубины бороздки.

Таким образом, комплексное трибологическое исследование включает непрерывную запись значений коэффициента трения при испытании по схеме «неподвижный стержень- вращающийся диск», а также фрактографическое исследование, в том числе измерения профиля бороздки и пятна износа, по результатам которого проводят расчет износа образца и контртела.

Количественно потерю объема при изнашивании проводят по следующим формулам:

потеря объема образца $\Delta V_{обр} = S \cdot l$, (мм^3), где l – длина бороздки (мм), S – площадь сечения бороздки износа (мм^2);

потеря объема контртела $\Delta V_{шар} = p \cdot h^2 (r - l/3h)$, (мм^3), где $h = r - (r^2 - [d/2]^2)^{1/2}$ (мм), d - диаметр пятна износа, r - радиус шарика, h – высота стесанного сегмента.

Приведенный износ I (величину, обратную износостойкости) рассчитывают, используя нормировку потери объема при испытании ΔV на величины пробега N (м) и приложенной нагрузки P (Н): $I = \Delta V / (N \cdot P)$.

Приведенный износ покрытия и контртела не зависит от пути пробега и нагрузки и позволяет сравнивать трибологические испытания, проведенные при разных условиях. Из (Рис. 7) [13] видно, что износостойкость многокомпонентных наноструктурных покрытий TiBN, TiCrBN, TiCN, TiSiN, осажденных на подложке из твердого сплава ТТ8К6 методом магнетронного напыления [14], в несколько раз выше, чем покрытий из нитрида титана.

К перспективным материалам, которые обладают низким коэффициентом трения, относятся материалы на основе квазикристаллов. В таблице 5 представлены результаты исследований трибологических свойств образцов на основе квазикристаллов Al-Cu-Fe ($\text{Al}_{65}\text{Cu}_{22}\text{Fe}_{13}$): объемного квазикристаллического образца, полученного методом горячего прессования; наноструктурной тонкой пленки, осажденной методом магнетронного распыления; объемных композиционных материалов на основе алюминия АСД, дисперсно-упрочненных квазикристаллическими нано- и микрочастицами. В трибологических испытаниях контртелом служил стальной шарик (сталь 100Cr6, аналог стали ШХ15).

Как видно для исходной алюминиевой матрицы АСД и композита «АСД+10% нано» отмечено налипание продуктов износа на контртелo. Эти образцы показали высокий износ. Лучшую износостойкость и самый низкий начальный коэффициент трения показали тонкая магнетронная пленка и композит «АСД+30% нано». Отмечено, что во всех случаях при испытании композитов на алюминиевой основе происходил абразивный износ и локальная пластическая деформация, а именно выдавливание материала образца из бороздки износа к ее берегам и образование «навалов».

Табл. 5. Трибологические свойства материалов и покрытий на основе квазикристаллов системы Al-Cu-Fe

Образец	Способ получения	Стартовый коэффициент трения	Износ контртела, $\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$	Износ образца, $\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$
Спеченный образец	Горячее спекание	0.14	$2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}$	Нет данных

магнетронная пленка	Магнетронное осаждение	0.29	$2.44 \cdot 10^{-6}$	$6.95 \cdot 10^{-5}$
АСД	Горячая экструзия	0.22	Налипание	$1.24 \cdot 10^{-2}$
АСД+10% нано	Горячая экструзия	0.20	Налипание	$8.62 \cdot 10^{-3}$
АСД+15% микро	Горячая экструзия	0.28	0	$3.0 \cdot 10^{-4}$
АСД+30% микро	Горячая экструзия	0.22	$1.15 \cdot 10^{-5}$	$1.33 \cdot 10^{-4}$
АСД+30% нано	Горячая экструзия	0.19	$9.87 \cdot 10^{-6}$	$9.23 \cdot 10^{-5}$

Таким образом, рассмотрены методы оценки механических и трибологических свойств функциональных поверхностей перспективных материалов и покрытий в условиях механического контакта при вдавливании, царапании и скольжении контртела.

Показано, что современные методы изучения поверхности позволяют получить ранее недоступные сведения о структурно-чувствительных свойствах - модуле Юнга и твердости - используя чрезвычайно малые (наноразмерные) объемы материала для исследования. Определение этих свойств играет первоочередную роль при конструировании новых наноматериалов, в том числе композиционных и функционально-градиентных, позволяя прогнозировать возможные механизмы их разрушения, контролируемые структурным состоянием поверхностных слоев.

Весьма важным является использование сертифицированного оборудования и стандартизация измерений. Только использование комплекса современных сертифицированных методов позволяет сравнивать измерения, проводимые в разных лабораториях. Без накопления таких данных невозможно успешное развитие важнейшего приоритетного направления – индустрии наносистем и материалов.

Дальнейший прогресс в области создания функциональных и многофункциональных наноструктурированных материалов и покрытий связан как с освоением промышленных технологий их получения, так и с аттестацией методик измерения свойств наноматериалов, созданием стандартных образцов, созданием метрологического комплекса на основе различных методов (включая наноиндентирование, измерительное царапание, ударно-динамические и трибологические измерения, оптическую и контактную профилометрию), выполнением требований взаимного признания результатов измерений и калибровки в соответствии с СМС.

Список литературы

1. Hertz H.R. Zeitschrift fur die reine und angewandte Mathematik. 1882. № 92. P. 156.
2. Ландау Л., Лифшиц М.. Теория упругости. М.: Наука, 1987. 248 с.
3. Musil J., Zeman H., Kunc F., Vlček // J./Mater. Sci. Eng. 2002, A340, 281.
4. Veprek S., Mukherjee S., Mannling H.-D., He J.L. // Mater. Sci. Eng. 2002, A340, 292.
5. Золотаревский В.С.. Механические свойства металлов: М.: МИСиС, 1998, 400 с.
6. <http://www.csm-instruments.com/>
7. Gamilton G.M. Proc.Inst. Mech. Engrs. // 1983, V.197C, p. 53.
8. Oliver W.C., Pharr G.M. // J. Mater. Res. 1992, P. 1564.
9. Бульчев С.И., Алехин В.П.. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора: М.: Машиностроение, 1990. 224 с.
10. Pharr G.M. // Mater.Sci. Eng.A. 1998,. V.253, P.151.
11. Derflinger V., Brandle H., Zimmermann H. New hard/lubricant coatings for dry machining // Surf. Coat. Technol. – 1999. – v. 113. – p. 286-292

12. Петржик М.И., Филонов М.Р., Печёркин К.А. и др. // Изв. вузов. Цв. металлургия. 2005, №6, С. 62.
13. Петржик М.И., Штанский Д.В., Левашов Е.А. Современные методы оценки механических и трибологических свойств функциональных поверхностей. Матер. X Междунар. науч.-техн. конф. "ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ" XVI Междунар. симп. "ТОНКИЕ ПЛЕНКИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ", Москва, 9-11 сент. 2004 г.), ОАО ЦНИТИ "Техномаш", с. 311.
14. Shtansky D.V., Sheveiko A.N., Petrzhik M.I., Levashov E.A., et.al. // Surface and Coatings Technology. 2005, V.200,. P.208.

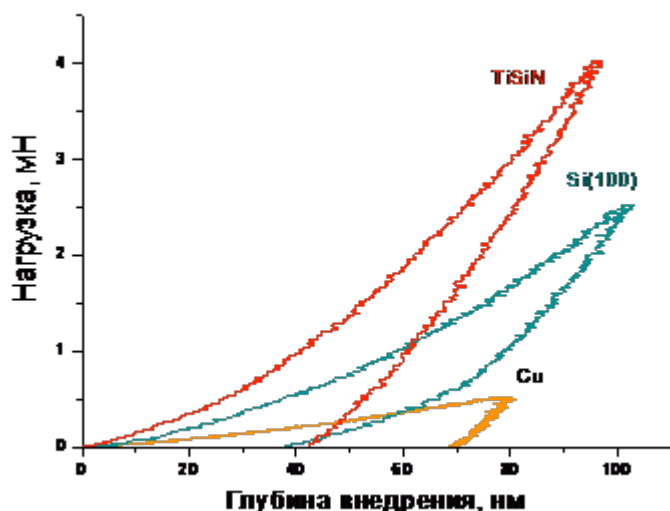


Рис. 1. Экспериментальные кривые измерительного индентирования в осях «нормальная нагрузка-глубина внедрения» для меди, монокристалла кремния и магнетронного покрытия TiSiN, осажденного на кремний

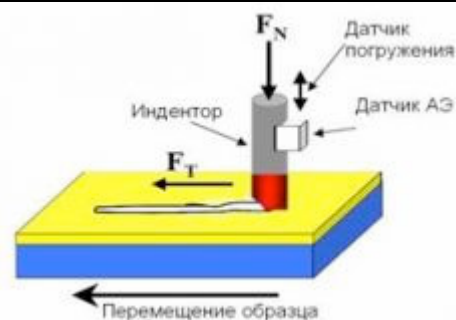


Рис. 3. Схема испытания на приборе REVETEST

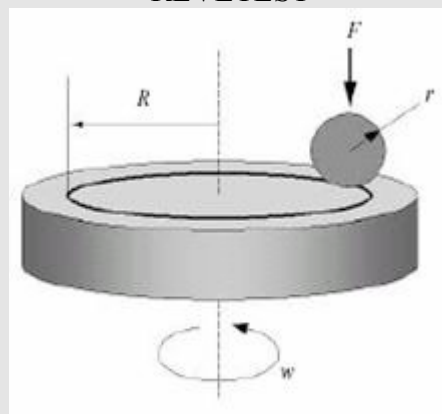


Рис. 6. Схема испытания на установки TRIBOMETER :F – нормальная нагрузка, r – радиус шарика, R – радиус кольца износа.

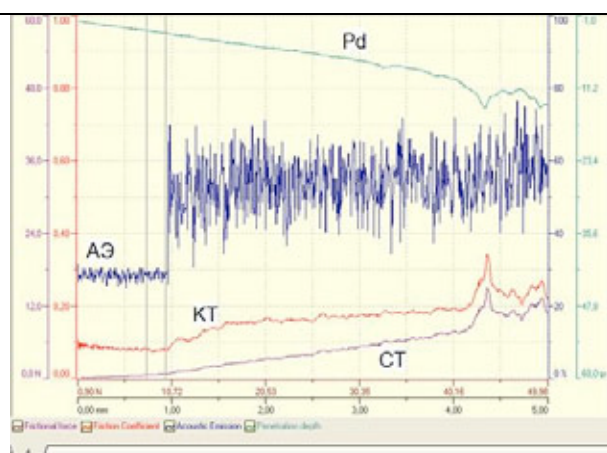


Рис. 4. Изменения сигнала разных датчиков при царапании образца при нагрузке, нарастающей от 0,9 до 50 Н. Используются следующие обозначения: Pd – глубина погружения, АЭ – акустическая эмиссия, КТ – коэффициент трения, СТ - сила трения

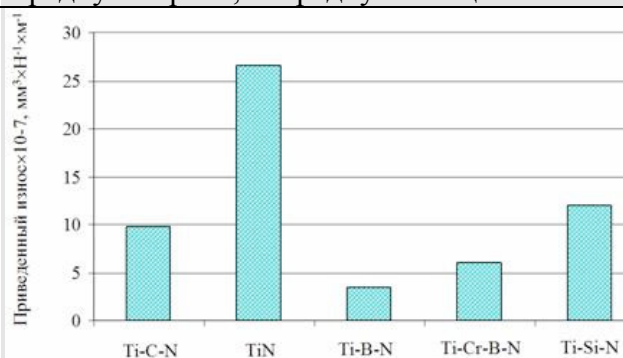


Рис. 7. Износостойкость наноструктурных покрытий TiBN, TiCrBN, TiCN, TiSiN и TiN по данным комплексного трибологического исследования

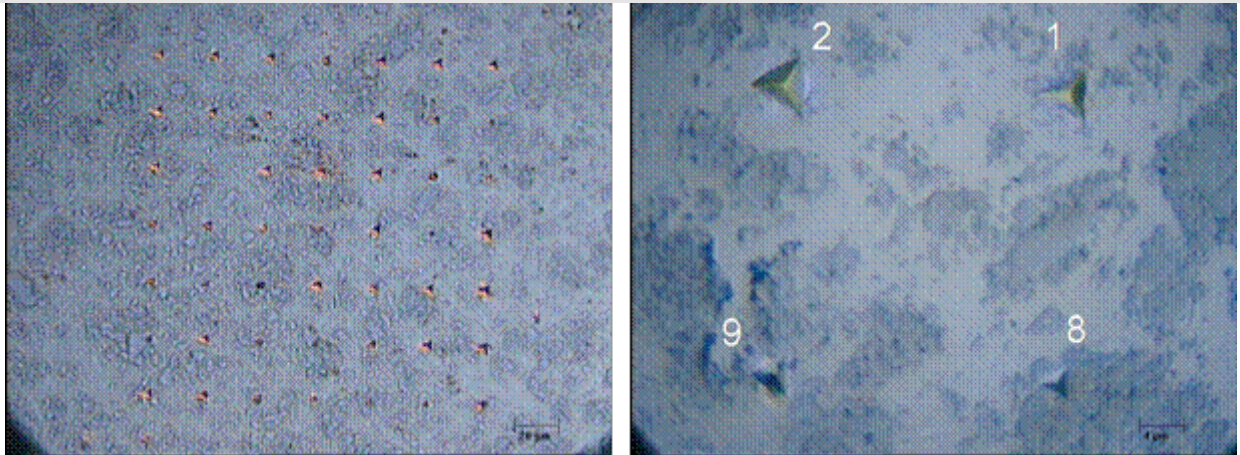


Рис. 2. Серия из 49 отпечатков при увеличении $\times 800$ и область из 4 отпечатков при увеличении $\times 4000$. Алюминий (АСД), дисперсно-упрочненный наночастицами квазикристаллов Al-Cu-Fe.

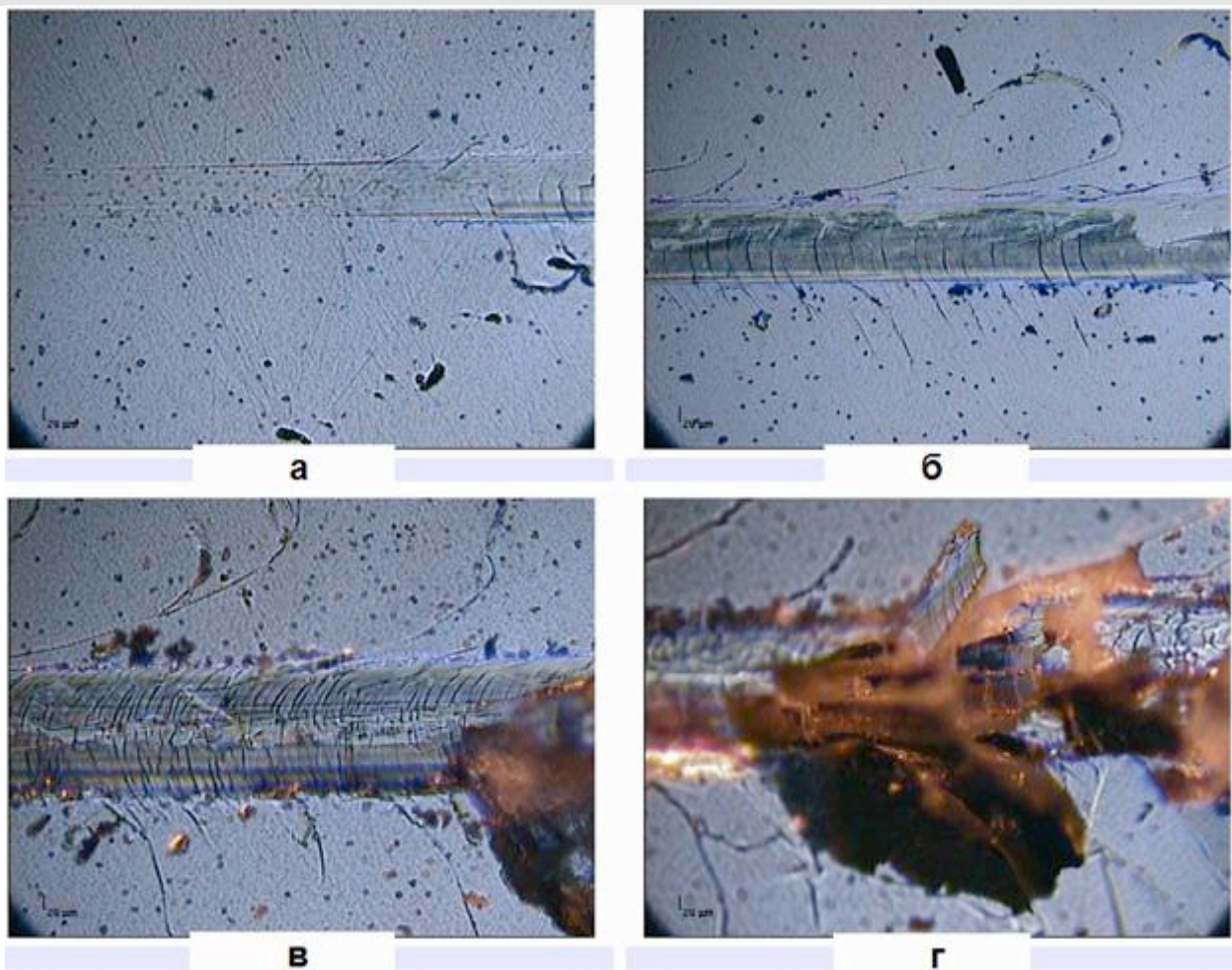


Рис.5. Фотографии участков царапины ($\times 800$) при нагрузке на индентор 11 (а), 18(б), 30(в), 37(г) Н.

Интервью профессора МГУ Ф. Атауллаханова. «Яркий фантик для адронного коллайдера»

Е. Вешняковская



Почему ученые утекают за границу? Есть много мнений, самое простое из которых - недостаток денег в России. Денег на научные исследования. Это звучит очень странно, учитывая то, как много научных и псевдо-научных групп получают огромные гранты под несуществующие исследования. В крайнем случае - под исследования, которыми они никогда не будут заниматься. Откуда такое противоречие? Ответ прост: те, кто занимается реальной наукой, не могут или не хотят грамотно пиарить свои исследования, те же, кто подает хорошие заявки на финансирование, не всегда столь же успешно занимаются наукой. Как решить эту проблему? Одно из мнений - в интервью Фазли Атауллаханова, профессора МГУ им. М. В. Ломоносова, директора Центра теоретических проблем

физико-химической фармакологии РАН и заместителя директора по научным вопросам Гематологического научного центра. Его мнение особенно интересно, поскольку он может компетентно сравнить российскую и американскую системы финансирования: проф. Атауллаханов одновременно работает в Москве и в университете Пенсильвании, США.

Приведенное интервью проф. Атауллаханов дал журналу Наука и Жизнь (2011 год, №1).

— **Фазли, понятно, что любой области приходится бороться за ресурсы, когда их мало. Но нужна ли науке реклама в таком высокотехнологичном, обеспеченном обществе, как США?**

— В Америке реклама науки считается очень важным занятием на всех уровнях. Заведующий лабораторией добывает деньги, рекламируя свои результаты в среде коллег или пошире — в среде людей, которые понимают предмет. Такая «реклама среди специалистов» приносит лаборатории гранты. Но если подняться чуть выше, на уровень факультета или университета, то окажется, что декан и ректор занимаются добыванием денег абсолютно так же, как какая-нибудь коммерческая компания. Факультет и тем более университет уже не могут рассчитывать на гранты. Они получают деньги в большей или меньшей степени от благотворителей: от людей, которые жертвуют. Это не гранты, это подарки. Здесь уже не обойтись без серьезной работы с обществом.

У необходимости рекламировать науку есть важная обратная сторона: каждый американский учёный непрерывно, с первых шагов и всегда, учится излагать свои мысли внятно и популярно. В России традиции быть понятными у учёных нет. Как пример я люблю приводить двух великих физиков: русского Ландау и американца Фейнмана. Каждый написал многотомный учебник по физике. Первый — знаменитый «Ландау—Лившиц», второй — «Лекции по физике». Так вот, «Ландау—Лившиц» прекрасный справочник, но представляет собой полное издевательство над читателем. Это типичный памятник автору, который был, мягко говоря, малоприятным человеком. Он излагает то, что излагает, абсолютно пренебрегая своим читателем и даже издеваясь над ним. А у нас целые поколения выросли на этой книге, и считается, что всё нормально, кто справился, тот молодец. Когда я столкнулся с «Лекциями по физике» Фейнмана, я просто обалдел: оказывается, можно по-человечески разговаривать со своими коллегами, со студентами, с аспирантами. Учебник Ландау — пример того, как устроена у нас вся наука. Берёшь текст русской статьи, читаешь с самого начала и ничего не можешь понять, а иногда сомневаешься, понимает ли автор сам себя. Конечно, крупницы осмысленного и разумного и оттуда можно вынуть. Но автор явно считает, что это твоя работа — их оттуда извлечь. Не потому, что он не хочет быть понятным,

а потому, что его не научили правильно писать. Не учат у нас человека ни писать, ни говорить понятно, это считается неважным.

Американский учёный с самого начала должен быть публичен. Должен «продавать» свои результаты. Звучит не очень хорошо, но это жизнь. Не умеешь продавать — извини, какой бы гениальный ты ни был. Ищи спонсора, который будет любить тебя как брата или друга и, как брат Ван-Гога, платить за твоё существование, независимо от того, что ты делаешь. Это, конечно, недостаток системы. Хорошо бы гениев пестовать и любить, а не заставлять торговать с воей гениальностью. Но как узнать, кто гений, а кто не гений? Американская система в этом смысле тупа: если ты гений, докажи это сам. Они не делают ставки на тех, кто умён, но не готов доказывать и объяснять. Этот импульс — продвигать, доказывать и объяснять — ощутим на всех уровнях. Университеты и выше, научные общества — то же Биофизическое общество, в котором я состою, или Общество клеточной биологии, — на своих симпозиумах прямо ставят вопрос: как нам лоббировать нашу область? С кем из конгрессменов мы должны работать, как и куда мы должны писать, какие мы должны предпринять шаги, чтобы публика знала, что мы занимаемся очень важным делом, и давала на это деньги?

— И никакого разделения труда — например, один мастер по лоббированию, другой сидит и думает?

— Разделение происходит так: если ты не склонен к этой деятельности, ты не будешь лезть в руководящие органы. Сиди профессором в своей лаборатории и получай гранты, для которых, впрочем, тоже нужно себя немножко рекламировать. А если склонен, пойдёшь вверх, станешь президентом какого-нибудь общества, попадёшь работать в соответствующие структуры.

— Гранты и подарки — вот и все источники денег, на которые живёт американская наука?

— Есть три вида денег: федеральные гранты, гранты обществ (как бы частные, но тоже гранты) и подарки. Подарки в основном исходят от бывших учеников. Если у тебя есть какие-то чувства к своему университету, ты под старость завещаешь ему деньги. Ещё один очень мощный источник подарков — благодарные пациенты. Это в основном касается медицинских школ, они исключительно богаты. Мне довелось читать лекцию в клинике Майо. Это гигантская градообразующая клиника, которая расположена в маленьком городишке, там живёт всего около тридцати тысяч человек. И вот в этом городишке построен международный аэропорт самого высокого класса, с таможней, со всем необходимым, куда садятся самолёты из любых стран мира. В клинике лечатся арабские шейхи, бразильские магнаты, которым бывает нужно в любой момент, в любое время суток немедленно попасть к своему врачу. Город живёт на науке. Это хороший пример того, как наука влияет на то, что происходит вокруг. Думаю, американская наука в целом устроена именно так: она продаёт не просто себя, а всю свою страну. Сегодня американцы дороги не метут, сапоги не тачают, даже телевизоры не собирают, за них это делает весь остальной мир. А что же делают американцы? Самая богатая страна в мире? Они объяснили, в первую очередь самим себе, а заодно и всему миру, что они — мозг планеты. Они изобретают. «Мы придумываем продукты, а вы их делайте. В том числе и для нас». Это прекрасно работает, поэтому они очень ценят науку.

— Но ведь американская наука живёт на «импортированных мозгах»?

— А моя лаборатория на чём живёт здесь, в Москве? Я высасываю мозги из всей России, используя те инструменты, которые есть в моём распоряжении: немножко Московский университет, немножко Физтех. В науке работает отбор, он идёт во всём мире. Прирождённые учёные рождаются везде, в том числе и в Америке: совершенно свихнутые ребята, которые, кроме, скажем, физики, ничем заниматься не могут. В Америке живёт 250 миллионов человек. В России около 150 миллионов, поэтому вероятность, что в России родится такой человек, примерно сопоставимая. А в Китае живёт полтора миллиарда, поэтому там таких должно родиться в десять раз больше. Американцы собирают их к себе просто потому, что Америка — единственное место, где эти ребята могут реализоваться, безотносительно к той системе обучения, которую они

прошли. Миф о том, что российская система образования до сих пор является замечательно хорошей...

— Ту, которая есть сейчас, никто уже не защищает. С ностальгией вспоминают ту, которая была. С её спецшколами, с её интернатами для выращивания молодых талантов...

— Тоже миф. Конечно, если взять среднюю американскую школу, это будет полный отстой. Но в Америке есть и элитные школы, очень хорошие. Поэтому не надо думать, что американцы не умеют учить. Прекрасно умеют. Но не всех. И ещё один миф: что школьное обучение играет сколько-нибудь решающую роль в появлении учёного. Из личного опыта: я до восьмого класса учился в посёлке, который в переводе на русский назывался Пятница, — далеко на периферии Советского Союза, в Узбекистане. Маленький посёлок под Самаркандом, куда моих родителей распределили после мединститута: три, наверное, врача было в местной больничке и несколько сестёр, они всё делали вместе. Такая же там была и школа: три учителя на всех. Ну и чему я там мог особенному научиться? Но я поступил после школы в Московский университет, при конкурсе 25 человек на место, потому что ничего другого себе помыслить не мог. Я был совершенно дикий человек, но способный. Когда я признался, что еду в Московский университет учиться физике, учительница математики всплеснула руками и сказала: «Что ж ты мне раньше не сказал? Я бы тебе дала книжку». Книжкой был сборник конкурсных задач, я не знал о том, что такое вообще существует. Учебники нам в школе выдавали, а других книжек я просто не знал. Сел в поезд, ехал четверо суток до Москвы (самолётом дорого было) и решал задачи. Я не исключение, а в каком-то смысле типичный случай: такие ребята постоянно приходят и будут приходить из всей России и шире, пока ещё, слава богу, студенты бывшего Советского Союза не должны платить за обучение.

— А какие должны быть вообще источники информации, какая-то информационная инфраструктура нужна «таким ребяташкам», чтобы им было легче состояться как учёным?

— Наука переходит из рук в руки в основном через прямой контакт. Классным учёным одарённый молодой человек сможет стать, только работая рядом с классными учёными. Иначе он не наберёт высоту, какие бы книжки ему ни давали. Поэтому главный инструмент, с помощью которого американцы растят свою науку, — мощные, высочайшего уровня лаборатории. В Америке понимают, что лаборатория — это главное. Всё остальное тоже есть: тесты, отборы, олимпиады, экскурсии, но это впридачу. Возьмите, например, университет штата Пенсильвания. В нём есть медицинская школа, вторая в США по значению. Она берёт к себе на работу выдающихся учёных, самых лучших, каких только может найти. Устраивает безумные конкурсы. Но взяв человека, эта медицинская школа, как вы думаете, сколько требует от него педагогической деятельности? Сколько времени профессор, который получил лабораторию в этой медицинской школе, должен преподавать? 10 часов в год! Всего лишь. Студенты обучаются, прежде всего, за счёт того, что крутятся здесь, в лаборатории, где работают такие профессора, высококлассные и незамученные, у которых одна задача — делать науку максимально высоким образом. Профессор работает — молодец. Хорошо работает — вдвойне молодец.

— Хорошо — это как?

— Он должен давать очень высокого уровня статьи. В очень высокого уровня журналах. С этим исключительно строго. Если ты не публикуешь серьёзных работ в серьёзных изданиях, с тобой быстро расстанутся. Но преподавать, если не хочешь — не надо, можно и от этих 10 часов отказаться.

— Как же они «высасывают мозги» из собственного общества при таких запредельных ценах на образование?

— Легко. Они помешаны на рейтингах. Если студент в рейтинге первый или второй, ему самому будут платить за то, что он там учится. Если ученик в школе в своём классе первый, он попадает на олимпиады, становится первым там и так далее. Когда он доходит до какого-то уровня и на нём

попадает в слой лидеров, уже стоит наготове множество обществ, большинство из них частные, не государственные, которые хотят дать ему стипендию, такую, чтобы он мог совершенно спокойно жить и учиться, ни о чём, кроме науки, не думая.

— **То есть «мозги» — это изначально товар?**

— Абсолютный товар! Очень ценный.

— **А российских студентов в вашей лаборатории что мотивирует?**

— Был период, когда наша лаборатория служила хорошим трамплином, с которого можно было прыгнуть в какую-нибудь приличную западную. Сейчас это проходит. Но даже и в тот период всё равно были люди, которые приходили просто за наукой. Лучшие из тех, кто сюда приходит, — это просто свихнутые на науке, ненормальные люди. Поймите, что учёным не становятся из любопытства. Я в восьмом классе заявил своим родителям, врачам, которые хотели видеть меня медиком: «Я буду заниматься медициной, но для этого я должен окончить физический факультет. И с этими знаниями заниматься медициной». Что до сих пор и делаю. Это разве любопытство? Конечно, есть те, кому любопытно: определённый средний класс людей, такому интересно и одно и другое, он может стать бизнесменом, а может учёным... Но такие, как правило, не выдерживают научной жизни, поскольку она везде очень тяжёлая, и в Америке — значительно тяжелее, чем в России. Тяжесть научной жизни заключается в непрерывной нагрузке. Нельзя отключиться, нельзя пойти погулять, а потом вернуться; те, кто позволяет себе отключаться, быстро вылетают из этой гонки. В лабораториях никто не следит за тем, чтобы ты пришёл к восьми. Можешь прийти к двум часам или вообще не прийти — твоё дело. Но когда бы ты ни пришёл, ты всё равно весь, полностью, в работе. У тебя мозги заняты только ею. Как только ты высвобождаешь их для другого, начинаешь тут же отставать. И всё, проехали. Тебе дорога в фармацевтическую компанию. Где совсем другая жизнь: от и до. Пришёл к девяти, ушёл в шесть. Там появляется своё время, своя жизнь. Хочешь отдыхать, любишь кататься на горных лыжах — пожалуйста, иди работать в коммерческую компанию. Представить себе в Америке активно работающего учёного, который может на месяц уехать кататься на горных лыжах, абсолютно невозможно. Он урывками, по два раза в год, отрывается максимум на неделю. И всё равно берёт с собой свой компьютер, работу. Лучшие идеи приходят, когда ты работаешь непрерывно. Неважно, лежишь ты на диване или разговариваешь по телефону, ты всё равно 24 часа в сутки занят этим делом.

— **Но это, наверное, относится к единицам, к тем, кого называют крупными учёными. Ими научные кадры не ограничиваются, есть средний уровень.**

— Люди приходят в науку и работают. Один становится великим учёным, а другой нет, но страсть у них одна и та же. Это совершенно внационально. Конечно, есть и конъюнктура тоже. Например, люди из бедных стран видят в науке возможность пробиться. И вкальвают. Не все они потом станут великими учёными, однако многие из них застрянут в лабораториях на среднем уровне. Очень часто это людей устраивает: сотрудник понимает, что достиг своего потолка, ему вполне комфортно, он делает приятное дело в приятной для себя обстановке. Работает в чужих проектах.

— **Об инвестициях: не тормозит ли учёного, его идею проектное финансирование?**

— Конечно, тормозит. Нельзя получить грант под суперидею. Можно — под нерисковые вещи или почти нерисковые. Но если ты умный, ты сможешь вывернуться так, чтобы были гранты, много, и чтобы была возможность делать вещи, которые вне этих грантов. Я продаю то, что я уже сделал. Я пишу грант про то, что уже сделано, а на полученные деньги веду работы, которые ни в какие гранты ещё не попадали.

— **А что может сказать на это «заказчик»?**

— В науке заказчика нет. Точнее, заказчик — сам исследователь. Потому что никто не знает, что исследователь хочет открыть, да и сам он не знает. Узнает потом, когда откроет. Продаётся же тот продукт, который известен. Успех продажи в значительной степени зависит от самого исследователя: в какую оболочку он завернёт свой результат, насколько удачно или неудачно подаст его на рынок.

— **Исследователя учат писать заявки на грант, отчитываться по гранту, делать грамотное планирование?**

— Детальнейшим образом. Как написать грант — это обязательная часть научного образования. Как отчитаться по нему. Как сделать доклад, как выступать перед публикой. Как написать статью. По этим вопросам есть подробные инструкции и проводятся специальные занятия. В каждой лаборатории с молодыми учёными обязательно этим занимаются. И здесь, в нашей, мы тоже этим занимаемся, потому что это нужно. Приведу пример. В Московском университете студент, который выходит защищать дипломную работу, как правило, выступает первый раз в жизни. Или, может быть, второй. А у меня он с того момента, как пришёл в лабораторию, выступает не реже, чем раз в месяц. С докладом, который обычно гораздо сложнее, в гораздо более агрессивной среде, чем на защите диплома. Поэтому когда мои ребята выходят защищаться, им легко, они уже обучены. Иногда кто-то пытается выступить здесь на семинаре просто так, без подготовки, потому что не понимает, зачем она нужна: что я, не смогу рассказать про то, что я сам делал? И неизменно переживает настоящий шок, потому что доклад не получился. Такого шеф берёт за шкуру, сажает рядом и долго, внятно объясняет, что на первом слайде вот таким шрифтом должно быть вот про это, а второй слайд всегда называется «постановка задачи» и так далее: даёт готовые шаблоны. Это презентационная культура.

— **Что можно сделать, чтобы преодолеть её отсутствие?**

— Нужно просто, чтобы всё было как на рынке: чтобы была обратная связь. В России мы часто разговариваем об одном, а делаем другое, у нас это разные жанры, совершенно не связанные между собой вещи. Правительство, чиновники, учёные — все ведут «двойную жизнь». Это корень бед: правильные слова, которые не соответствуют ничему реальному. Поэтому надо сделать, чтобы соответствовало. Вот и всё.

— **Но есть ещё своего рода интеллектуальный снобизм: неприязнь к шаблонам и упрощённым объяснениям.**

— Снобизм — это личное дело. Хочешь быть снобом, будь им. Если найдёшь на свой снобизм покупателя. Мы, учёные, люди бедные. Мы не можем позволить себе роскошь делать то, что хочется. Нам нужно зарабатывать деньги, следовательно, продавать. Российский снобизм, я думаю, идёт не столько от интеллекта, сколько из того давнего советского времени, когда то, что мы получали, никак не было связано с тем, что мы делали. Зарплата у всех была одинаковая — сто рублей или сто пятьдесят; можно было сделать шажок, стать из младшего научного сотрудника старшим и получать двести рублей, но это никак не зависело от того, что ты пишешь в своих статьях и где ты их публикуешь или не публикуешь вообще. Это зависело только от твоих отношений с начальством. Во всём мире это абсолютно невозможная вещь. Ни один начальник не может позволить себе роскоши держать приятного человека, если этот приятный человек не выдаёт статьи. Статьи — это продукт, который надо неуклонно выдавать. У нас система обратной связи разорвана, была и остаётся. Сегодня ты подаёшь в России на грант и даже не получаешь рецензии на заявку!

— **А бывают рецензии на грантовые заявки?**

— А как же иначе-то? Грантовая система нацелена на то, чтобы выявить лучших в честном и открытом конкурсе. А как оценить, хорошая у тебя заявка или плохая? Вот тебе говорят: у тебя плохая заявка. Докажите. Представьте, пожалуйста, экспертное заключение. Когда эти экспертные

заклучения представлены, заявитель может их оспорить, попытаться доказать, что эксперты не правы.

— **Оспорить отказ в гранте?**

— Ну конечно! К сожалению, в России правильный подход к получению гранта — это не хорошая заявка, а «надо найти ходы». Надо договориться, ходить в правильные места, надо чтобы тебя правильные люди знали... Но с качеством твоей научной работы это никак не связано. Опять разрыв обратной связи.

Я уже не один десяток заявок вместе со своими ребятами в России подал, какие-то гранты получил, какие-то не получил. История, которую считаю рекордной в плохом смысле: однажды ответ «Ваш грант не поддержан» я получил через три дня после подачи заявки. Очевидно, что никакой работы с заявками не было, кто получит гранты, было решено ещё до объявления конкурса, но грантовая комиссия (а возглавляли её очень уважаемые люди, серьёзные учёные) даже не дала себе труда это замаскировать. А по правилам рецензент должен мне научно обосновать, что моя заявка не соответствует.

— **В России так бывает?**

— Оказывается, бывает! Несколько лет назад я подал заявку на грант в Роснано в полной уверенности, что это такая же организация, как все остальные. И был потрясён. Через два или три месяца я получил на свою работу пять рецензий. Ре-цен-зий! Не отписку «Ваш грант поддержан (или не поддержан)», а пять рецензий, из которых одна — на сорок страниц. Эта сорокастраничная была написана настолько квалифицированно... Я российских учёных в своей области знаю довольно хорошо и знаю, что среди них нет человека, который мог бы квалифицированно написать такую справку. Явно работал американец: их учат именно так обосновывать свою точку зрения. Человек добросовестно, по-американски поработал. Он «пропахал» заявку от строчки до строчки, залез в литературу, посмотрел свежайшие статьи, сослался на них: «Три месяца назад вышла статья, в которой написано вот что, а вы говорите вот что...» Заканчивалась рецензия так: «Недостаточно информации для того, чтобы сделать заключение». Но эта схема была мне хорошо знакома, опыт есть. Я поднимаю своих ребяташек, мы ставим новые опыты — прицельно, чтобы ответить на конкретные вопросы рецензии, пишем практически ещё одну заявку, где раскрываются все недостающие подробности, и в результате получаем финансирование почти миллиард рублей. Так работает Роснано. Кто-то их ругает, кто-то хвалит, но схема у них очень простая и правила понятные. Когда я потом лучше узнал их систему, то увидел, что в какой-то момент они столкнулись с совершенно фантастической, однако предсказуемой ситуацией: через такое сито, как у них, российскому проекту пройти трудно. Деньги есть. Проектов не хватает.

— **Это из-за нехватки презентационной культуры или с содержанием проектов тоже не всё в порядке?**

— С содержанием тоже. Мы всё потеряли за двадцать лет. Нет науки, нечего подавать.

— **Но что-то же в российской науке происходит?**

— Ошибаетесь. Не происходит. Осталось считанное количество сильных лабораторий, я их все могу перечислить.

— **Перечислите.**

— Не буду. Неэтично.

— **А как их отличить невооружённому глазу?**

— По публикациям в журналах Nature и Science.

— **И всё-таки вся наука не может поместиться в два даже о очень хороших журнала. И в десять тоже не влезет. Как работает экспертиза со стороны научного сообщества, чтобы поддерживать общий уровень своей науки?**

— Посредством так называемых peer-reviewed журналов: таких, где материалы рассматривает не редколлегия, а специалисты, учёные. Таких изданий довольно много, и, чтобы публикация ценилась и котировалась, публиковаться надо именно в них. Система работает подобно грантовой. Подав статью в peer-reviewed журнал, ты получаешь обратную связь: рецензии. Обычно две-три, очень жёсткие — статью будут долбить со страшной силой. Чем выше рейтинг журнала, тем жёстче его рецензенты.

— **То есть подача материалов в такой журнал имеет ещё и обучающую силу?**

— Абсолютно. И рейтинговую. Это единственная система, которая нас, учёных, сравнивает между собой. Нас много, каждый думает, что очень хорош. Но единственная измеримая реальность, фундамент, на который опирается всё остальное — гранты, должности, деньги, — это твои публикации и их рейтинг. Пробился в Nature — молодец, замечательно, ты можешь попасть на профессорскую должность в самый лучший университет. Пробился в журнал Cell — специализированный журнал по биологии, будет то же самое. У Cell рейтинг иногда бывает выше, чем у Nature, потому что Nature и Science в мире академических изданий считаются популярными журналами, их роль примерно такая же, как у «Науки и жизни». Туда пишут специалисты, но очень популярно. Кстати, попаду я в Nature или нет, зависит ещё и от того, насколько популярно я сумею подать свою работу публике, насколько смогу поразить не специалистов, а просто образованных людей, для которых этот журнал работает. Популярные журналы — хорошее сито, учёный должен уметь доказать, что его работа хороша, всем, а не только интересующимся его областью.

У журналов тоже есть рейтинг, он определяется импакт-фактором. Журналы оцениваются по тому, насколько их публикации оказывают влияние на мировую общественность. Это подсчитывается очень легко: импакт-фактор — это сколько раз на статью сослались в течение какого-то срока. Средний индекс цитируемости статьи в этом журнале. И если в среднем каждая статья в журнале Nature цитируется тридцать раз за год после выхода, это очень высоко. Тридцать или около — реальный показатель импакт-фактора этих журналов. Дальше идут более специализированные журналы, в биологии и биофизике импакт-фактор таких журналов лежит где-то в границах 25 — 20 — 15. Журналы с импакт-фактором «десятка» считаются высокого класса профессиональными изданиями. Очень высокий класс, хотя и в три раза ниже, чем лидеры. Издания, публикация в которых идёт биологу или биофизику в зачёт, — это журналы с импакт-фактором примерно до тройки. Ниже тройки — считается, что в них можно опубликовать что угодно: немножко подупришь и опубликуйся. Для сведения: импакт-фактор российских биофизических журналов лежит в диапазоне 0,1—0,2. Мне на Западе, случалось, говорили: «У вас есть журнал “Биофизика”. Что с ним случилось? Когда-то, в 60-е — 70-е годы мы ждали каждого нового номера, он был у нас настольный». А сейчас на Западе перестают читать российские журналы, и это объяснимо. Я тоже перестал их читать. Сначала пытался бороться с падением уровня, потом перестал в них публиковаться. В российской науке я как бы не существую. Ко мне очень давно не обращаются за рецензиями на статьи. Потому что будет жёсткая рецензия, которая не нужна. Меня не берут в редакции. Не берут оппонентом в защиты диссертаций. Академическая наука пытается изолироваться, обойтись без системы обратной связи.

— **Вы в стороне от академической системы, но успешно получаете гранты, продаёте свою работу, прекрасно выживаете. Значит, одно не является необходимым условием для другого?**

— Является, но отчасти. Российская наука устроена так: ничто не работает напрямую. Та схема, без обратной связи, которую я вам нарисовал, тоже реализуется непоследовательно и не до конца. У меня есть имя, известность, высокого уровня публикации. Это ценится, на этом ресурсе я делаю свою карьеру в России. Загадочным и непонятным образом.

— **Кому принадлежат получаемые вами результаты?**

— В этом вопросе полная каша. В Гематологическом центре я заместитель директора по науке. Моя задача — научная сторона институтской жизни. Приходят люди и говорят: «Я подал на патент. Мне нужно за этот патент заплатить три тысячи рублей». У института денег на это никогда нет. Институт вроде и хочет, чтобы эта интеллектуальная собственность принадлежала ему, но трёх тысяч рублей потратить не хочет. Тогда человек платит из своего кармана и берёт патент сам. И начинается скандал.

— **Разве в контрактах сотрудников не оговорены эти вопросы?**

— Какие контракты? Мы государственные служащие, у нас никаких контрактов нет.

— **Где вообще проходит граница между «ролью личности» и участием организации в той или иной ценной разработке?**

— В США, когда профессор, возглавлявший лабораторию, уходит или умирает, лаборатория ликвидируется. Полностью. Оборудование, которое там стояло, выбрасывают на свалку или распродают, будь это даже новейший прибор, который только вчера купили. Все без исключения сотрудники сокращаются. Объявляют новый конкурс, берут нового профессора. Ему дают деньги, о которых он сторговался, полмиллиона или миллион, делают ремонт, и он всё покупает заново. Бывают случаи — помещения-то однотипные, работа однотипная, — что один профессор ушёл, всё вынесли, потом новый профессор пришёл и на то же место поставил точно такой же прибор, какой там раньше стоял, только новый. Я сначала недоумевал и расстраивался: ну как же можно так расточительно относиться? По опыту оказалось: совершенно правильно. Если ты поверил в руководителя лаборатории, ты должен дать ему карт-бланш, а не навязывать предысторию. Нет никакой предыстории, есть только история — он сам. Что он сделает, то сделает. Если ты ошибся в нём и не получил того, что надо, ты его уволишь и возьмёшь другого. Уникальное оборудование, скажем синхрофазотрон, не выбрасывают, конечно, но основная тенденция такая: с чистого листа под единоличную ответственность профессора. Это оборачивается огромными выгодами.

Рынок ценен тем, что даёт обратную связь. В американской науке всё построено как на базаре и поэтому всё очень точно отслеживается. Вот, например, физика. Она замечательно хорошо продавалась в 50-е, 60-е, 70-е годы, пока была востребована. Шла холодная война, нужно было точить оружие, делать ракеты, ядерные бомбы, на физику был колоссальный спрос. Когда холодная война закончилась, по инерции этот спрос какое-то время ещё продолжался, а потом физика сломала себе хребет, когда пообещала дать мирный термояд, обеспечить человечество энергией и раз за разом не смогла это сделать. Сейчас физика представляет собой удивительное явление, совершенно, по сравнению с биологией, камерный мир. Импакт-фактор высочайших, легендарнейших физических журналов — пять. Физиков сегодня так мало, что они между собой общаются по электронной почте: посылают друг другу свои статьи. Написал статью — и разослал. Разве можно это сравнить с сегодняшней биологией, многочисленной, с колоссальной конкуренцией?

— **Получается, что физика нужна только затем, чтобы ковать ядерный щит?**

— Ядерные щит и молот — только одна сторона дела. Другая заключается в том, что физике очень долго не приходилось объяснять, зачем она нужна. И она разучилась себя продавать. Сейчас учиться снова, вполне успешно. Один из самых выдающихся физических проектов, который резко поднял авторитет современной физики, — это космическая обсерватория «Хаббл». А почему? Да просто он принёс на Землю из космоса много потрясающе интересных картинок, на которые любопытно посмотреть абсолютно всем: и специалисту и обывателю. А если к хорошей картинке написан популярный текст, продавать свою науку становится ещё легче...