

С Новым Годом!!!



2008!

ПОЗДРАВЛЯЕМ НАШИХ ЧИТАТЕЛЕЙ С НОВЫМ ГОДОМ!

Желаем здоровья, счастья и мегауспехов в нанонауке!!!

Факультет наук о материалах МГУ в 2007 г.



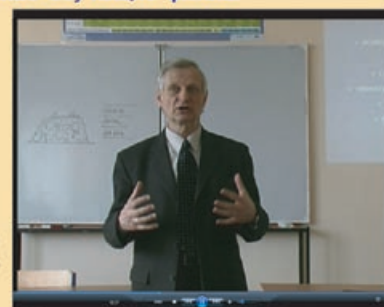
15 декабря в присутствии ректора МГУ и коллектива студентов, аспирантов и преподавателей Факультета наук о материалах состоялся традиционный ежегодный отчет декана академика Ю.Д.Третьякова.

Образовательные проекты ФНМ в рамках программы "Инновационный университет":

- Разработка ФГОС-3 по направлению «Химия, физика и механика материалов»
- Выставка-конкурс научных фотографий «Красота материалов»
- Создание библиотеки обучающих видеофильмов и мультимедийных лекций по неорганическому материаловедению и нанотехнологиям, а также основам управления инновационными процессами
- Создание научно-популярной книги «Нанотехнологии. Азбука для всех»
- Открытие программ дополнительного образования по наноматериалам и нанотехнологиям (дистанционное образование).
- Сотрудничество с Малой Академией МГУ по программе «Внедрение нанотехнологий в школьное образование»
- Развитие дистанционных форм тестирования знаний – Интернет-олимпиада по нанотехнологиям
- Создание методического обеспечения и практикума по наноматериалам и нанотехнологиям
- Создание и поддержка информационного портала по нанотехнологиям www.nanometer.ru

Мультимедийные обучающие фильмы

- «Введение в нанотехнологии»
- «Получение магнетически активных материалов из оксидных стекол»
- «Фотокааталитические свойства мезопористого оксида титана»
- «Рост пористых пленок оксида алюминия»
- «Магнитные устройства с высокой плотностью записи»
- «Углеродные нанотрубки: получение, свойства, перспективы»
- «Металлические фотонные кристаллы»
- «Коллоидный синтез квантовых точек»
- «Нанофлуктуации состава в ВТСП»
- «Наночастицы для биомедицинских применений»
- «Биоматериалы»
- «ВТСП-материалы и их применение»
- «Фуллерены»
- «Углеродные материалы»



- «Малое высокотехнологическое предпринимательство»
- «Интеллектуальная собственность и нематериальные активы»
- «Формы финансирования и поддержки инновационной деятельности»
- «Планирование научных исследований и бизнес планирование»



5

При информационной поддержке портала были организованы и проведены:

- Конкурс научной фотографии
- Интернет-олимпиада «Нанотехнологии - прорыв»

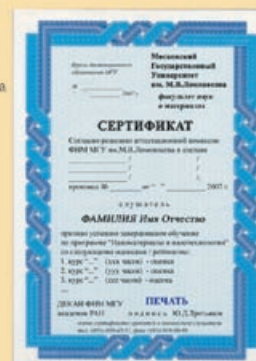
Дистанционные курсы по наноматериалам и нанотехнологиям

Число слушателей в 2007 году: 72 человека
Стоимость: 4000 руб./ курс

Обучение проводится дистанционно через сайт www.nanometer.ru по следующим дисциплинам:

1. Самоорганизация и самосборка в наносистемах
2. Наноматериалы в современных химических источниках тока
3. Магнитные наноматериалы и методы исследования
4. Металлокомплексные соединения и органические светодиоды
5. Сканирующая зондовая микроскопия
6. Исследования материалов методами рстровой и просвечивающей электронной микроскопии
7. Магнитные структуры и Мессбауэровская спектроскопия
8. Рентгенодифракционные методы исследования

преподаватели



8

в будущее!»

- Конкурс студенческих НИР в области наноматериалов
- Дистанционные Интернет-курсы в области наноматериалов и нанотехнологий

В 2006-2007 г.г. научные исследования на Факультете наук о материалах проводились в рамках 7 проектов РФФИ, 18 госконтрактов ФЦП по критическим технологиям и 5 международных проектов (Германия, Китай, Тайвань). Свыше 80% средств, полученных по этим контрактам, были направлены на приобретение современного научного оборудования для синтеза и исследования наноматериалов. Так, за этот период приобретены:

- СКВИД-магнетометр S700 производства компании Cryogenic (Англия)
- Оптическая скамья с набором приставок для спектрофотометра Lambda 950 Автоматизированная система высокого давления Parr
- Система очистки воды Millipore Elix10 и Millipore MilliQ Advantage
- Сухой бокс Labconco Protector
- Рамановский спектрометр Renishaw inVia Reflex (Англия)
- Масс-спектрометр Perkin Elmer Elan DRC II с системой обработки информации
- Анализатор распределения частиц по размеру Malvern Zeta sizer ZS
- Сублиматор Labconco Freezone

На приведенном ниже рисунке проиллюстрированы некоторые достижения коллектива факультета в отчетном году



Отчет декана о работе факультета был одобрен ректором и Ученым Советом.

Autumn School in Materials Science and Electron Microscopy 2007

“Microscopy - Advanced Tools for Tomorrow's Materials”

Свыше семидесяти лет прошли после создания первого электронного микроскопа, и, тем не менее, электронная микроскопия до сих пор остается активно развивающимся направлением науки и техники. Это продемонстрировали признанные специалисты в этой области на состоявшейся в Берлине (Германия) Осенней научной школе по электронной микроскопии. Из шести представителей российской делегации трое - питомцы ФНМ МГУ. Всего в работе школы участвовали около 100 человек из 16 стран. Научная школа называлась



Участники школы - В. Калитка и В. Максимов

“Микроскопия как современный метод исследования материалов”, и проходила она с 8 по 11 октября 2007 г. на территории кафедры электронной микроскопии Физического факультета Университета Гумбольдта в Берлине.

Целью прошедшей научной школы было - продемонстрировать современные направления развития и новые методы электронной микроскопии в материаловедении. В течение недели работы школы перед слушателями выступили признанные ученые - специалисты по современным методам электронной и оптической микроскопии. Кроме этого, было отведено время для устных и стендовых докладов, на которых молодые ученые представляли результаты своих исследований, после чего могли обсудить их со своими старшими коллегами.

Среди наиболее интересных сообщений следует указать на доклад о методах просвечивающей электронной микроскопии профессора Х. Штранка (Штуттгарт, Германия). Довольно подробно прозвучало описание техники обработки данных и их интерпретации. На реальных примерах проиллюстрирована возможность изучения механических свойств промышленно важных сплавов и динамики дефектообразования в полупроводниковых материалах.

Также большой интерес участников школы вызвали доклады о возможностях аналитических методов электронной микроскопии, таких, как дифракция в сходящемся луче, спектральный анализ энергетических потерь электронов (F. Hofer, Graz, Austria), которые открывают новые возможности для материаловедения (анализ состава, структуры и т. д.) и пути развития количественных методов в электронной микроскопии.

В рамках семинара представители ведущих компаний-производителей на рынке научного и аналитического оборудования познакомили молодых ученых с реальными возможностями новейших моделей электронных микроскопов. Так FEI Company в лице В. Freitag сделала заявление о микроскопе-рекордсмене. Удивительный аппарат Titan, созданный в рамках американско-европейского проекта TEAM, получил свои первые изображения с рекордным разрешением 0,05 нанометра. Это равно четверти поперечника атома углерода. Чтобы понять, какие возможности открывает новый прибор при изучении материалов или биологических молекул, нужно сказать, что диаметр спирали ДНК составляет целых 2 нанометра. TEAM означает Transmission Electron Aberration-corrected Microscope, то есть трансмиссионный электронный микроскоп с коррекцией aberrации. Он появился в результате смещения двух технологий: электронных микроскопов сканирующего и

трансмиссионного типов (так называемая технология S/TEM). Для повышения разрешения здесь был применён ряд новаций, в частности, сразу две оригинальные системы коррекции сферической аберрации.

К слову, предыдущий рекордсмен был создан в национальной лаборатории в Окридже. И его достижение равняется 0,06 нанометра.

В 2009-м новый микроскоп-рекордсмен должен быть полностью отлажен, испытан и приступит к работе.

Бойцова О.

Euromat (European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes)

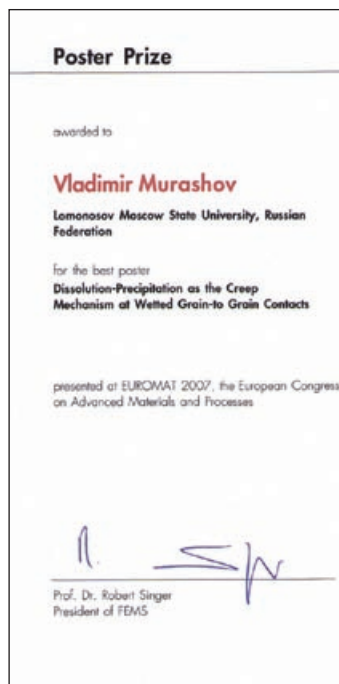
Euromat (European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes) – это встреча представителей 23 членов Федерации европейских обществ материалов (Federation of European Materials Societies, FEMS). Проходит один раз в два года. В 2007 году (10-13 сентября) немецкий город Нюрнберг собрал более 2000 участников из 50 стран мира для очередного крупнейшего в своем роде события общеевропейского значения, затрагивающего все аспекты науки о материалах (включая металлы) технологий их производства и использования.



Устный доклад аспиранта ФНМ В. Мурашова

На суд широкой аудитории были представлены устные и постерные доклады по 20 тематикам, разбитым на 54 симпозиума. Острый интерес вызвала секция, отведенная биоматериалам. Особенно живую дискуссию вызвал доклад о керамических имплантах на основе Ti и Ta молодого кандидата наук Башковой Ирины из МИСиСа. Научной группой, где проводила свои исследования наша коллега, были синтезированы, а затем успешно опробованы на живых объектах новые биоматериалы. Помимо интересных в фундаментальном и прикладном значении докладов, на экспозиции выставки EUROMAT – «Наука о материалах» известными производителями аналитических приборов были продемонстрированы новейшие разработки в области оптической (OLYMPUS), атомно-силовой (S.I.S.) и электронной микроскопий (FEI).

В двух симпозиумах, выделенных в группу «Процессы в материале» выступили с устными докладами аспиранты ФНМ МГУ. Бойцова Ольга (асп.1 г/о, лаборатория химии координационных соединений) в симпозиуме «Thin Film Technology» представила доклад, посвященный тонкопленочным покрытиям и их свойствам. Доклад Владимира Мурашова «Dissolution-Precipitation as the Creep Mechanism at Wetted Grain-to-Grain Contacts» был удостоен награды «EUROMAT 2007 Poster PRIZE», которой



Диплом за лучший стендовый доклад

традиционно отмечают 10 самых ярких и наукоёмких выступлений постерной сессии. Стоит отметить, что Владимир является обладателем этой награды уже во второй раз. В 2005 году доклад по теме его диплома-бакалавра также присудили премию «EUROMAT 2005». Поздравим молодого лауреата «EUROMAT 2007 Poster PRIZE».

Всем студентам и аспирантам Факультета наук о материалах достойных наград и успехов в нашем общем нелегком деле.

Подробная информация <http://www.euromat2007.fems.org/>

Бойцова О.

Наноактивность в Украине

II Конференция «Наноразмерные системы: строение, свойства и технологии (НАНСИС-2007)»

В последней декаде ноября в Киеве состоялись два интересных научных события. 20 ноября прошли первые академические чтения «Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии», а с 21 по 23 ноября работала вторая конференция «Наноразмерные системы: строение, свойства и технологии (НАНСИС-2007)». Оба мероприятия проводились на базе академического Института металлофизики им. Г.В. Курдюмова (<http://www.imp.kiev.ua/>) и собрали огромное количество участников.



Для участия в академических чтениях зарегистрировались 550 человек, в основном это были студенты, аспиранты и молодые ученые украинских институтов и университетов. Чтения проводились с задачей ознакомить молодую аудиторию с последними достижениями в области разработки и применения

наноматериалов, и, несомненно, поставленная цель была достигнута. Большой зал института на смог вместить всех желающих, часть слушателей расположилась в проходах, а в фойе организовали большие экраны для трансляции лекций. Восемь профессоров (по четыре из России и Украины) прочли лекции на разные темы, посвященные наноразмерным, наноструктурированным и нанокompозитным материалам и их применению в электронике, медицине, авиа- и машиностроении и других сферах деятельности. Все выступления вызвали огромный интерес и сопровождалась продолжительной дискуссией. В завершение с обзором новой продукции выступили представители фирмы Токуо Воеки, которые показали возможности электронной микроскопии высокого разрешения (с программой и мультимедийными

презентациями большинства докладов можно ознакомиться на сайте <http://www.forums.nas.gov.ua/lectures-nansys2007/Pages/program.aspx>).

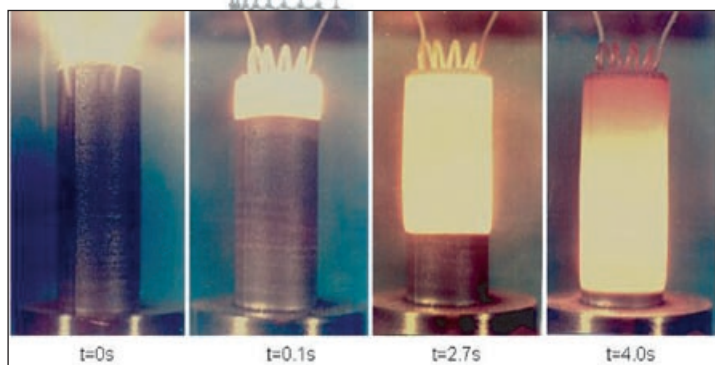
Не менее интересным оказался и другой форум – конференция НАНСИС-2007. Он собрал около 500 участников из 9 стран. Помимо украинских ученых на конференции с устными докладами выступали представители России и Беларуси, а в стендовой сессии отметились ученые из Молдавии, Польши, Сербии и других стран. Тематика устных докладов была весьма разнообразна – от методов синтеза и исследования наноразмерных и наноструктурированных объектов с неясными перспективами применения до технологии получения уже зарекомендовавших себя наноматериалов. В устных докладах затрагивались некоторые темы, интерес к которым в нашей стране не так очевиден. Например, разработка наноразмерных носителей лекарств и нанокompозитных биологических меток, применение подходов супрамолекулярной химии для получения наноразмерных материалов, синтез наноматериалов в высокотемпературных солевых расплавах и другие. К сожалению, и мы уже к этому привыкли, почти половина стендов пустовала.

НАНСИС-2007 – это вторая конференция, проводимая украинской академией наук, первая состоялась три года назад, и организаторы обещают сделать такие форумы традиционными, а также провести во второй половине 2008 года международную конференцию молодых ученых, посвященную достижениям в любых областях наноматериалов и нанотехнологий. Не случаен и выбор места проведения конференции. Институт металлофизики является головной академической организацией Украины в области “нано”-исследований.

И последнее. Киев порадовал прекрасной погодой. После московской слякоти киевский морозец с солнцем, еле пробивающимся сквозь дымку, был очень приятен.

Шевельков А.В.

В этом году исполнилось 40 лет открытия СВС



В 1967г. сотрудники Научного Центра Академии наук СССР в Черноголовке А.Г. Мержанов, И.П. Боровинская и В.М. Широ сделали научное открытие, названное «Явление волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций», на основе которого был создан метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). СВС - это процесс перемещения волны химической реакции по смеси реагентов с образованием твердых конечных продуктов. СВС представляет собой режим протекания сильно экзотермической реакции (реакции горения), в котором тепловыделение локализовано в слое и передается от слоя к слою путем теплопередачи.

В связи с этим событием, а также 20-летием создания Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН в Научном Центре РАН в



Черноголовке 22-24 октября 2007 г. прошли торжественные заседания Президиума НЦ РАН и Ученого совета Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН и Международная конференция «Исторические аспекты развития исследований и применений процессов СВС в различных странах мира», в которой приняли участие ученые из разных стран бывшего СССР, США, Франции, Великобритании, Польши, Японии, Испании, Италии и др.

Нанотехнологическая программа РАН

Комиссия РАН по нанотехнологиям разработала общеакадемическую программу работ в области нанотехнологий до 2015 года. Проект программы был обсужден на заседании Отделения химии и наук о материалах и доложен на общем собрании Академии 19 декабря 2007г. и получил одобрение академического сообщества.

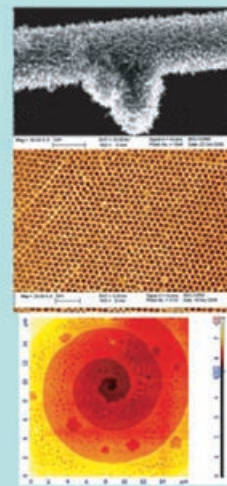
Программа предполагает организацию секции «Наноматериалы», задачей которой является руководство такими направлениями фундаментальных и фундаментально-ориентированных исследований наноматериалов, как

•Фундаментальные особенности наносостояния, включая влияние размерного фактора, анизотропии и размерности, морфологические и структурные особенности

•Новые подходы к созданию наноматериалов, включая процессы самосборки и самоорганизации

•Исследование взаимодействий в ансамблях наночастиц

•Моделирование наноматериалов и процессов их формирования



Конструкционные наноматериалы и наноматериалы со специальными свойствами (руководитель подсекции академик С.М. Алдошин)

Секцию возглавит академик РАН, директор Всероссийского института авиационных материалов Е.Н. Каблов (зам. руководителя - акад. Ю.Д. Третьяков).

На основании рассмотрения 360 предложений от более 100 организаций в рамках секции будут созданы четыре подсекции:



• Наноструктурные наполнители, упрочнители и волокна для наноматериалов и композитов конструкционного назначения (фуллерены, нанотрубки, астралены). Технологии их получения, очистки, модифицирования, диспергации и т.п.

• Полимерные конструкционные нанокомпозиты, модифицированные и упрочняемые за счет введения или прививки наночастиц, в том числе и функциональных, обеспечивающих изменение структуры матрицы, приводящие к качественному изменению конструктивных и эксплуатационных свойств.

• Конструкционные и жаропрочные сплавы, упрочненные наноструктурированными фазами для повышения эксплуатационных характеристик.

• Наноструктурные защитные покрытия: тепло-, звуко-, молниезащитные, лакокрасочные, вибропоглощающие и коррозионностойкие.

• Высотемпературные конструкционные композиционные материалы на основе наноструктурированной керамики.

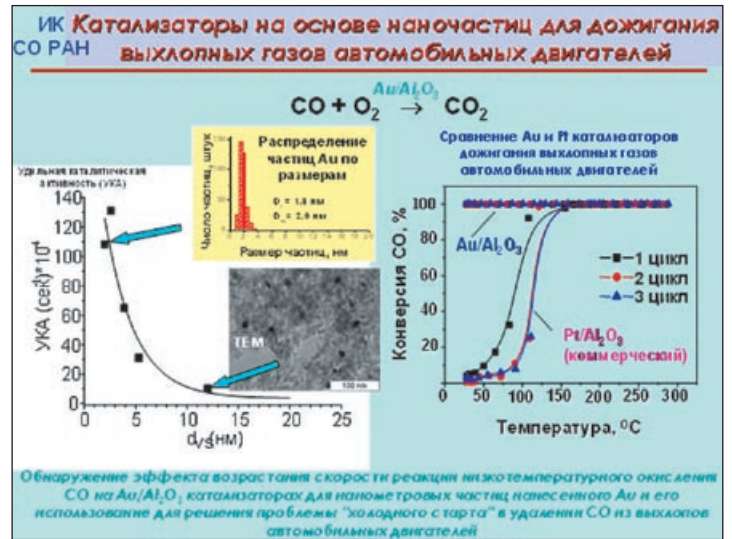
• Физико-химические методы исследования, диагностики и контроля качества наноматериалов, нанокомпозитов конструкционного, специального и функционального назначения.

• Наноматериалы функционального назначения со специальными физическими свойствами (поглощающие, отражающие или пропускающие излучения различной природы).

• Разработка элементной базы для молекулярных компьютеров на новых фундаментальных принципах.

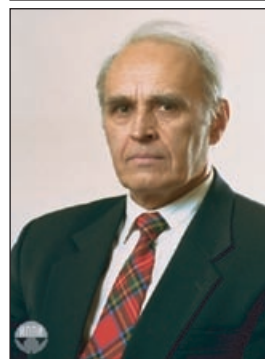
транспортировки тепловой, химической и электрической энергии.

• Методы *in-situ* исследования химических и физико-химических свойств функциональных наноматериалов, а также их изменений (активация, дезактивация, деградация и т.п.) под воздействием реакционных условий.



Энергонасыщенные наноматериалы (руководитель подсекции академик В.А. Тартаковский)

• Энергонасыщенные наноматериалы, технологии их получения и использования при формировании новых материалов и наноструктурированных материалов.



Наноматериалы для электроники, магнитных систем и оптики (руководитель подсекции академик Е.М. Дианов)

• Наноматериалы для оптических систем.
• Магнитные наноматериалы.
• Наноструктуры и нанокомпозиции для электронных и фотонных информационных систем.



Функциональные наноматериалы (катализаторы, сорбенты, мембраны, полимеры) – (руководитель подсекции академик В.Н. Пармон)

• Нанопористые сорбенты и каталитически активные наноматериалы, в том числе материалы, проявляющие каталитические и сорбционные свойства при физических воздействиях.

• Наноселективные мембраны и мембранно-каталитические наноматериалы.

• Наноструктурированные и наномодифицированные полимерные материалы с функциональными свойствами.

• Наноматериалы для генерации, хранения и

Семинар в ИБХФ РАН

В декабре 2007г. состоялся совместный семинар аспирантов и сотрудников ФНМ, Химического факультета и Института биохимической физики РАН. Семинар, целью которого явилось ознакомление с результатами исследований в области магнитных наноматериалов, был проведен по инициативе директора ИБХФ чл.-корр. РАН С.Д. Варфоломеева и декана ФНМ акад. Ю.Д. Третьякова. Темы сообщений на семинаре затрагивали такие материаловедческие направления, как

- получение и исследование пространственно упорядоченных магнитных наноструктур на основе одномерных твердотельных нанореакторов;
- управление магнитными свойствами гексаферритов посредством осуществления реакций внутреннего окисления;
- получение магнитоактивных материалов из оксидных стекол;



• разработка методик получения магнитных наночастиц на основе оксидов железа для медицины.

Состоявшаяся в конце семинара дискуссия выявила взаимный интерес к сотрудничеству в области биомедицинских применений магнитных материалов.

Философия наносинтеза

Плохо давать определения, которых нет в учебниках, которые признают все, но, тем не менее, иногда можно попытаться это осторожно сделать. Стоит, например, определить, что «нанодиапазон» – участок пространственной шкалы 1 – 100 нм, в котором реализуются основные взаимодействия в **наносистемах** и который ограничивает сверху и снизу геометрические размеры **нанообъектов** по одному или нескольким измерениям. При этом принято говорить, что вещество находится в «наносостоянии», если проявляются свойства, отличные от химических, физических или биологических свойств макросостояния (объемного состояния) вещества. Объекты, все размеры которых меньше 1 нм, относятся к области деятельности того или иного классического раздела химии, физики и пр. Объекты, все размеры которых больше 100 нм, относятся к микро- и макрообъектам, и рассматриваются, в лучшем случае, как дисперсные системы, не проявляющие особенности наносостояния.

«**Нанотехнологии**» – совокупность химических, физических или искусственных биологических процессов (это все же технологии! Know how, «знаю как»...), позволяющих контролируемо оперировать с нанообъектами, формирующими те или иные материалы, устройства или технические системы. Особенностью нанотехнологий является широкое использование процессов самоорганизации, самосборки и темплатного синтеза, которые могут в сложно организованной системе привести к формированию необходимых упорядоченных структур (**наноструктур**), проявляющих требуемые практически важные (**функциональные**) свойства.

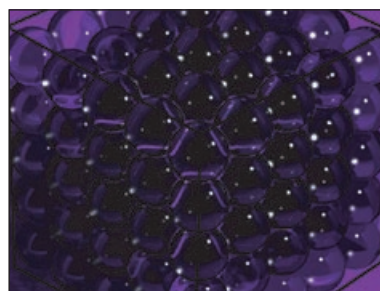
Наноматериалы (НМ) – продукты нанотехнологий, материалы, практически важные (функциональные) свойства которых определяются химическим составом, структурой, размером, размерностью и упорядочением составляющих их фрагментов, размер которых принадлежит нанодиапазону.

Получение наноматериалов с уникальными свойствами, как правило, основано на формировании тех или иных структур, причем часто - иерархических, полезные функции которых определяются не только наноуровнем, но также и другими уровнями структуры. При этом достаточно трудно ожидать, что на наноуровне

возможна искусственная манипуляция отдельными нанообъектами с целью «ручной» сборки материала. Это пока что нецелесообразно (медленно и требует совершения большого объема работы). Поэтому естественным способом получения наноматериалов могут являться самосборка и самоорганизация.

Организация (возникновение упорядочения) при самосборке контролируется, главным образом, конкуренцией различных сил взаимодействия, часто молекулярной природы, наподобие гидрофильных – гидрофобных взаимодействий, сил гравитации, ван-дер-ваальсовых или кулоновских взаимодействий.

Самосборка – процесс образования упорядоченной надмолекулярной структуры или среды, в котором в



Трехмерное упорядочение монодисперсных сфер, плотная шаровая упаковка

практически неизменном виде принимают участие только компоненты (элементы) исходной структуры, аддитивно составляющие или «собирающие», как части целого, результирующую сложную структуру.

Самоорганизация может быть использована как механизм создания сложных «шаблонов»,

процессов и структур на более высоком иерархическом уровне организации, чем тот, что наблюдался в исходной системе, за счет многочисленных и многовариантных взаимодействий компонентов на низких уровнях, на которых существуют свои, локальные, законы взаимодействия, отличные от коллективных законов поведения самой упорядочивающейся системы. Для процессов самоорганизации характерны различные по масштабу энергий взаимодействия, а также существование ограничений степеней свободы системы на нескольких различных уровнях ее организации (в общем, определения дать не получилось, зато чувствуется, что эта «самоорганизация» - не совсем то, что самосборка).

Например, рост совершенных монокристаллов и образование коллоидных (фотонных) кристаллов (то, что называлось ранее «консервативной самоорганизацией») следует считать процессами самосборки, поскольку такие системы стремятся и фактически достигают равновесного, неизменного и воспроизводимого состояния, которое достаточно легко можно предсказать на основе аддитивности взаимодействия отдельных составляющих

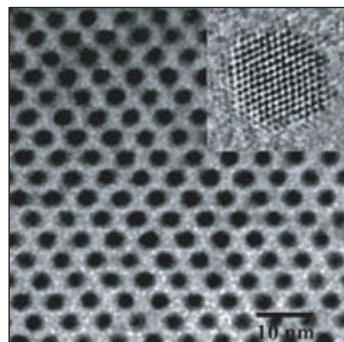


Рис.1. Упорядоченный массив наночастиц FePt диаметром 2 нм

частей исходной системы – атомов (молекул, ионов) или, скажем, коллоидных микросфер. С другой стороны, возникновение ячеистой структуры, граней кристалла или формирование дендритов при неравновесной кристаллизации гомогенной расплава, образование сложных структур в жидких кристаллах под действием электрического поля, сложная доменная структура

ферромагнетиков и сегнетоэлектриков, формирование периодических полос скольжения металлов и тяжелей в полимерах при механической деформации – все эти

явления приводят к возникновению в неравновесных условиях неравновесных же микроструктур, не вполне точно пространственно воспроизводимых от эксперимента к эксперименту и значительно более сложных морфологически, чем те, которые можно было бы ожидать при простом взаимодействии компонентов. В этом случае можно говорить о самоорганизации.

Явления образования упорядоченных структур и самоорганизации происходят обычно как отклик сложной системы на сильное внешнее воздействие. Помните

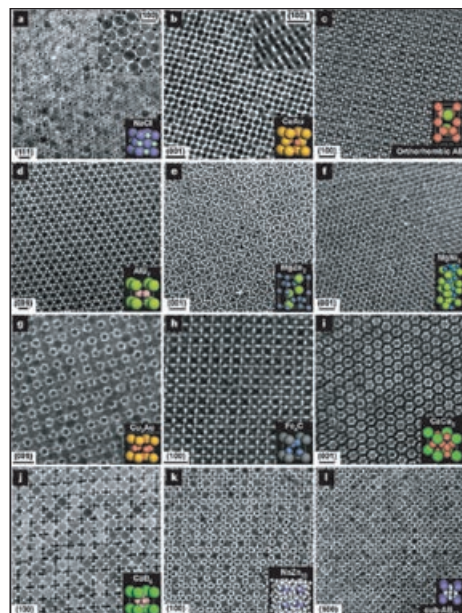


Рис.2. Микрофотографии характерных проекций бинарных сверхрешеток, образованных различными наночастицами, и модельные элементарные ячейки соответствующих трехмерных структур

героев сказки Г.Х. Андерсена «Снежная королева»? «Кай возился с плоскими остроконечными льдинами, укладывая их на всевозможные лады... Он складывал из льдин и целые слова, но никак не мог сложить того, что ему особенно хотелось, - слово "вечность". Снежная королева сказала ему: "Если ты сложишь это слово, ты будешь сам себе господин, и я подарю тебе весь свет и пару новых коньков". Но он никак не мог его сложить». Наверное, Кай был бы не против,

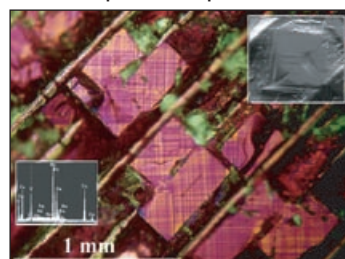
если бы после часов его бесплодных усилий льдинки сжалились и сами сложились в требуемое слово.

То, что в этом мире не бывает чудес (кстати, это одна из самых коротких формулировок 2 закона термодинамики) – это не закон подлости, а следствие фундаментальных законов термодинамики, согласно которому беспорядок в изолированной системе стремится увеличиться. Иначе говоря, согласно этому закону, игрушки просто мечтают самопроизвольно оказаться под шкафом, под кроватью и в других непредназначенных для них местах. Они разложатся по коробкам в том случае, если система игрушек перестанет быть изолированной, и в нее начнется приток энергии извне в виде вашей кропотливой работы по уборке комнаты.

К сожалению, этих законов никто не отменял и в наном мире. Если Вы хотите упорядоченно «разложить» молекулы или наночастицы, последние наверняка не будут разделять Ваше желание. Впрочем, бывают ситуации, когда при определенных условиях микро- или нанообъекты вдруг перестают капризничать и сами начинают выстраиваться в виде упорядоченных структур. Противоречия с фундаментальными законами природы здесь нет – система в данном случае неизолированная, и на нанообъекты оказывается какое-то внешнее воздействие. Однако в отличие от упомянутых методов, данное воздействие направлено не на конкретную частицу, а на все сразу. Вам не нужно выстраивать требуемую структуру вручную, помещая нанообъекты в требуемые точки пространства один за другим –

создаваемые условия таковы, что нанообъекты делают это сами и одновременно. Процессы, использующие создание таких особых условий, называются процессами самосборки, уже сейчас они играют важнейшую роль во многих областях науки и техники. Нанотехнологам, освоившим самосборку, Снежная королева ничего не обещала, но они умеют многое и без ее помощи.

Многие из вас, наверное, помнят игру в бильярд и укладку шаров в «пирамиду» – в замкнутом объеме шары сами складываются в равносторонний треугольник, причем одним способом. Если же их «насыпать» в большой ящик и немного потрясти, то они самопроизвольно образуют практически идеально упорядоченную структуру. В некоторых случаях атомы одного сорта также можно рассматривать в виде однородных по размеру



Расположение сверхпроводящих кристаллитов в канавке. Полоски - двойниковая структура.

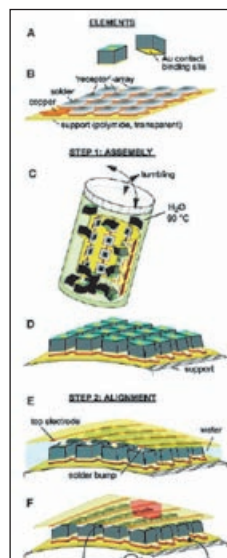
шаров, которые аналогичным образом упорядочиваются в ограниченном объеме. В химии и кристаллографии даже существует термин «плотнейшая шаровая упаковка».

Подобно атомарным ансамблям и макросферам сферические наночастицы способны спонтанно собираться в упорядоченные агрегаты (сверхрешетки). Основными причинами такого

«слипания» наночастиц являются различные слабые силы (электростатические и капиллярные взаимодействия, поверхностное натяжение), которые, в целом, стремятся уменьшить общую площадь поверхности наночастиц и, следовательно, их поверхностную энергию. Впервые упорядоченные массивы наночастиц золота диаметром

~ 4 нм в оболочке алкилтиолов были получены в 1995 г медленным упариванием растворителя, а двумя месяцами позже удалось «уложить» монодисперсные пятинанометровые частицы селенида кадмия. Чем однороднее были исходные наночастицы, тем «правильнее» становилась их упаковка в массиве.

Насегодняшний день синтезированы дву- и трехмерные организованные массивы нанокристаллов Pt, Pd, Ag, Au, Fe, Co, FePt, Fe₃O₄, Co₃O₄, CoO, CdS, CdSe, CdTe, PbSe, сплавов Fe-Pt, Au-Ag, наноструктур «ядро в оболочке» CdS/CdSe, CdSe/CdTe, Pt/Fe, Pd/Ni, и т.д., стабилизированных поверхностно-активными веществами (см. рис.1).



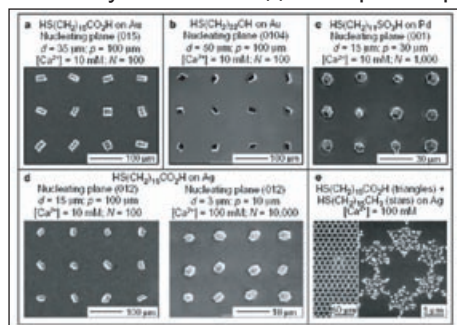
Самосборка люминесцентного дисплея (Science).

Кроме того, для анизотропных наночастиц удалось добиться формирования ориентационно-

упорядоченных массивов. Однородные по размеру наночастицы можно «собрать» в пространственно-упорядоченные структуры, представляющие собой одномерные «нити», двумерные плотно упакованные слои, трехмерные массивы или «малые» кластеры. Тип организации наночастиц и структура образующегося массива зависят от условий синтеза, диаметра частиц, природы поверхностно-активного вещества и даже от дисперсионной среды.

Однако давайте вернемся к плотнейшим упаковкам: если в ящик «насыпать» два типа шаров с определенным

соотношением размеров, можно получить сложные, организованные структуры, подобные атомным решеткам кристаллических соединений, типа NaCl, AlB₂ и т.д. Для формирования аналогичных структур на наноуровне используют коллоидные растворы с бимодальным распределением наночастиц. При этом варьируя размер нанокристаллов, концентрации, природы растворителя, температуры и скорости осаждения позволяет подобрать оптимальные условия для



Изменение ориентации эмбриокристаллов карбоната кальция на монослоях длинноцепочечного тиола.

образования трехмерных ансамблей нанокристаллов изоструктурных известным интерметаллическим соединениям (рис.2). Возможность управления процессом организации наночастиц в пространственно-упорядоченные сверхрешетки во многом определяется стабильностью золя наночастиц в процессе испарения растворителя. Подбор растворителя для обеспечения медленной дестабилизации позволяет получать трехмерные сверхрешетки нанокристаллов с дальним порядком (до 100 мкм).

В настоящее время известны, конечно, и примеры того, как с помощью различных методов самосборки удавалось получать полезные упорядоченные структуры из микрочастиц. Для создания особых условий, при которых в конкретной системе происходит самосборка, могут быть использованы гравитационное, электрическое или магнитное поле, капиллярные силы, игра на смачиваемости-несмачиваемости компонентов системы и другие приемы.

Рассмотрим простую систему, наглядно иллюстрирующую различные подходы, используемые для самосборки. Предположим, у нас есть закрытый сосуд с водой, в которой диспергированы коллоидные сферические частицы полистирола, и мы хотим, чтобы частицы образовали упорядоченную структуру, как показано на рис.3. Если сосуд изолирован от внешних воздействий (например, парит в невесомости), то этого никогда не произойдет, поскольку частицы полистирола несут электрический заряд и отталкиваются друг от друга.

Какие же условия необходимо создать для самосборки? Вариантов несколько. Самое простое решение – вернуть сосуд на Землю. На полистирольные микросферы начнет действовать сила тяжести, под действием которой частицы начнут оседать на дно сосуда, образуя упорядоченную структуру. Другой способ осуществить самосборку – открыть сосуд и вертикально поместить в него стеклянную подложку. В области границы раздела «подложка-вода-воздух» образуется мениск, в который частицы будут втягиваться под действием капиллярных сил. По мере испарения воды, мениск будет сползать вниз по подложке, оставляя за собой пленку из упорядоченных полистирольных микросфер. Самосборка под действием

капиллярных сил – это очень распространенный способ синтеза структурированных микро- и наноматериалов. Еще один несложный способ добиться упорядочения полистирольных частиц – поместить каплю суспензии из нашего сосуда на гидрофильную поверхность. По мере высыхания капли частицы будут собираться вместе, и в данном случае самосборка будет происходить под действием силы поверхностного натяжения.

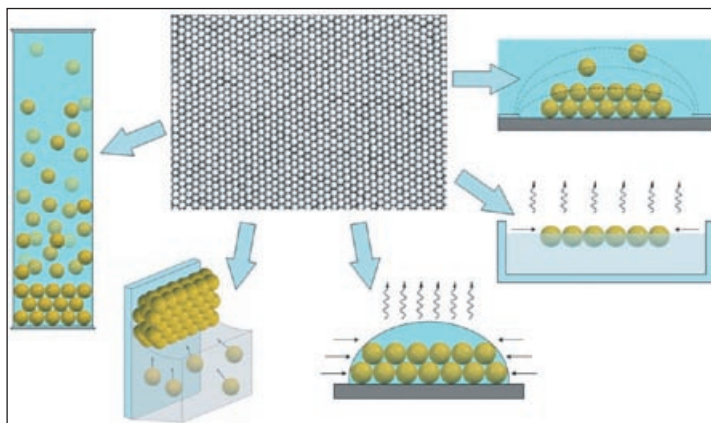


Рис.3. Самосборка полистирольных микросфер под действием гравитационного поля, капиллярных сил, сил поверхностного натяжения и электрического поля. В центре – электронно-микроскопическое изображение упорядоченных полистирольных микросфер (ФНМ МГУ)

капиллярных сил – это очень распространенный способ синтеза структурированных микро- и наноматериалов. Еще один несложный способ добиться упорядочения полистирольных частиц – поместить каплю суспензии из нашего сосуда на гидрофильную поверхность. По мере высыхания капли частицы будут собираться вместе, и в данном случае самосборка будет происходить под действием силы поверхностного натяжения.

В случае полистирольных микросфер поверхность, на которой происходит самосборка, не обязательно должна быть твердой. Дело в том, что плотность полистирольных частиц очень близка к плотности воды, поэтому полимерные шарики, оказавшиеся на поверхности воды, не тонут. Таким образом, при нагревании суспензии полистирольных микросфер на поверхности быстро образуется белая пленка (практически как «пенка» на молоке), которая также состоит из упорядоченных частиц. Наконец, как уже отмечалось, полистирольные микросферы заряжены, поэтому для их самосборки можно использовать электрическое поле.

Система полистирольных микросфер в воде достаточно проста, однако далеко не все из рассмотренных способов самосборки можно применить для получения упорядоченных структур на основе более сложных объектов. Впрочем, многообразие микро- и наноструктурированных материалов, полученных методами самосборки велико – это и самособирающиеся монослои, и различные мезопористые структуры, и фотонные кристаллы. Огромное значение процессы самосборки имеют и в живой (рост кораллов, ракушек, зубной эмали...), и в неживой Природе (снежинки, опалы...). В настоящее время процессы самосборки начинают активно использоваться и в производстве. В частности, известная компания IBM внедряет процессы самосборки для создания компьютерных чипов нового поколения.

А.А.Елисеев, А.С.Синицкий, (редактирование – Е.А.Гудилин)

НАНОМЕТР: 119992, Москва, Ленинские Горы, ФНМ МГУ им. М.В.Ломоносова, тел. (495)-939-20-74, факс (495)-939-09-98, yudt@inorg.chem.msu.ru (акад. РАН Ю.Д.Третьяков, главный редактор), metlin@inorg.chem.msu.ru (в.н.с. Ю.Г.Метлин, отв. редактор), goodilin@inorg.chem.msu.ru (проф. Е.А.Гудилин, пресс-центр), petukhov@inorg.chem.msu.ru Д. И. Петухов (ст. ФНМ, верстка)