

РОССИЙСКИЕ НАНО ТЕХНОЛОГИИ

**Наноразмерные композиты SnO_2 , CoFe_2O_4 :
получение, свойства и их сорбционная
активность**

**Магнитные наноструктуры на основе
нанокластеров оксидов железа**

**Биотестирование наноматериалов:
о возможности транслокации наночастиц
в пищевые сети**

**Что мы знаем
о ГРАФЕНЕ?**

ISSN 19927223



9 771992 722003

Подписка на 2011 год Скидка 10%

+7 495 930-88-06

Подробности на сайте: www.actanaturae.ru

ИЗМЕНЕНИЯ В РАБОТЕ АНТИТЕЛА

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Среди различных типов антител к ДНК одно из наиболее распространенных — это антитела к ДНК (АДНК). Они являются результатом взаимодействия иммунной системы с ДНК. Взаимодействие антител с ДНК происходит в результате их способности связываться с различными участками ДНК. Это взаимодействие может быть обусловлено различными факторами, такими как структура ДНК, наличие определенных химических групп и т.д. Взаимодействие антител с ДНК может быть как прямым, так и косвенным. Прямое взаимодействие происходит в результате того, что антитело связывается непосредственно с ДНК. Косвенное взаимодействие происходит в результате того, что антитело связывается с белком, который в свою очередь связан с ДНК.

Понимание механизмов взаимодействия антител с ДНК имеет большое значение для разработки новых методов диагностики и лечения заболеваний, связанных с нарушением работы иммунной системы. В настоящее время ведутся активные исследования в этой области, направленные на выяснение механизмов взаимодействия антител с ДНК и на разработку новых методов диагностики и лечения заболеваний, связанных с нарушением работы иммунной системы.

В настоящее время ведутся активные исследования в этой области, направленные на выяснение механизмов взаимодействия антител с ДНК и на разработку новых методов диагностики и лечения заболеваний, связанных с нарушением работы иммунной системы. В настоящее время ведутся активные исследования в этой области, направленные на выяснение механизмов взаимодействия антител с ДНК и на разработку новых методов диагностики и лечения заболеваний, связанных с нарушением работы иммунной системы.

В настоящее время ведутся активные исследования в этой области, направленные на выяснение механизмов взаимодействия антител с ДНК и на разработку новых методов диагностики и лечения заболеваний, связанных с нарушением работы иммунной системы. В настоящее время ведутся активные исследования в этой области, направленные на выяснение механизмов взаимодействия антител с ДНК и на разработку новых методов диагностики и лечения заболеваний, связанных с нарушением работы иммунной системы.

Рис. 1. Структура антитела (АТ) и его взаимодействие с ДНК. АТ состоит из двух тяжелых (H) и двух легких (L) цепей, соединенных дисульфидными связями. АТ взаимодействует с ДНК в результате своего специфического взаимодействия с определенными участками ДНК.



ActaNaturae

НЕПРИРОДНЫЕ АНТИТЕЛА

Для клинического применения

РЕГУЛЯЦИЯ ТЕЛОМЕРАЗЫ
В ОНКОГЕНЕЗЕ

СТРУКТУРА
МИТОХОНДРИАЛЬНОГО ГЕНОМА
ВОЗБУДИТЕЛЯ ОПИСТОРХОЗА

СТЭКИНГ-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В КОМПЛЕКСАХ БЕЛКОВ





Visual Science

Студия научной графики, анимации и моделирования

Визуал Сайенс — студия научной графики №1 в России. Анимация и интерактивные презентации, буклеты, отчеты, иллюстрации и графика для научных публикаций, пластиковые модели наноматериалов и схем производств.

Москва, Лихов переулок, дом 4
(+7 495) 514 91 42, (+7 495) 650 99 85
<http://visualscience.ru>
mailbox@visualscience.ru

Среди наших клиентов: Российская академия наук, МГУ им. М.В. Ломоносова, Государственная корпорация РОСНАНО, Independent Media, Королевское общество химии (Великобритания), Hemopharm USA Corporation (США), Garland Science Publishing (Великобритания), Global HIV Vaccine Enterprise (США), РИА Новости и др.

Что можно относить к продукции наноиндустрии?



Игорь Соловьев

Необходимость выделения из общей массы товаров и услуг специальной категории товаров и услуг, связанных с нанотехнологиями и обозначаемых как продукция наноиндустрии, возникает, когда необходимо оценить роль нанотехнологий в сфере производства товаров или выбрать инвестиционные проекты под инвестиции, выделенные для развития наноиндустрии.

Проводить такое выделение необходимо осторожно, учитывая то, что практически все материалы содержат элементы (субструктуры), лежащие в интервале размеров 1–100 нм. Если подходить формально, то большая доля всех производимых продуктов может быть отнесена к продуктам наноиндустрии.

К продукции наноиндустрии относятся продукты, которые имеют наноразмеры (наноструктуры, наночастицы), содержат в своем составе нанозлементы, или продукты, при производстве которых были использованы нанотехнологии.

Из перечисленных категорий нанопродукции наиболее неопределенной является категория продуктов, которые в своем составе содержат нанозлементы. К данной категории могут быть отнесены продукты, полученные интеграцией нанокomпонентов в макрообъект. А значит, к нанопродукции можно будет относить любые классические продукты, которые содержат в своем составе наномодифицированные элементы. При этом объем продукции наноиндустрии будет существенно превышать объемы собственно продукции наноиндустрии как таковой.

К этой категории нанопродукции относятся в первую очередь разнообразные изделия с нанопрочняющими или иными нанофункционализирующими покрытиями. Считать такие продукты продуктами наноиндустрии можно лишь в том случае, если нанокomпоненты продукта создают принципиально новые функциональные и потребительские характеристики нанопродукции и нанокomпоненты являются неотделимой частью произведенного изделия.

Главный редактор, академик РАН М.В. АЛФИМОВ

РОССИЙСКИЕ НАНО ТЕХНОЛОГИИ

ноябрь-декабрь 2010

ТОМ 5, № 11-12

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ №ФС77-26130 выдано Федеральной службой по надзору
за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия 03 ноября 2006 г.

Учредители:

Федеральное агентство по науке
и инновациям РФ, ООО «Парк-медиа»

Редакционный совет:

Председатель: М.В. Ковальчук
Главный редактор: М.В. Алфимов

Ж.И. Алфёров, А.Л. Асеев,
Е.Н. Каблов, М.П. Кирпичников,
С.Н. Мазуренко, К.Г. Скрябин

Редакционная коллегия:

Ответственный секретарь: М.Я. Мельников
Издатель: А.И. Гордеев

М.И. Алымов, В.М. Говорун, А.А. Горбацевич,
С.П. Громов, А.М. Желтиков, Р.М. Кадушников,
А.Н. Озерин, А.Н. Петров, В.Ф. Разумов,
И.П. Суздальев, С.П. Тимошенко

Руководитель проекта: Т.Б. Пичугина

Выпускающий редактор: М.Н. Морозова

Редактор: С.А. Озерин

Подготовка иллюстраций, макет и верстка:

С.В. Новиков, К.К. Опарин

*В оформлении обложки использован рисунок графена,
подготовленный студией научной графики Visual Science.*

Фотоподбор: М.Н. Морозова

Распространение: Е.Л. Пустовалова

E-mail: podpiska@nanorf.ru, www.nanorf.ru

Дизайн журнала: С.Ф. Гаркуша

Корректура: Т.Х. Валавина

Адрес редакции: 119234, Москва, Ленинские горы, Научный парк МГУ,
владение 1, строение 75Г. Телефон/факс: (495) 930-87-07.

Для писем: 119311, Москва-311, а/я 136

Подписка: (495) 930-88-06.

E-mail: podpiska@nanorf.ru, www.nanorf.ru

ISSN 1992-7223

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Российские нанотехнологии»
обязательна. Любое воспроизведение опубликованных материалов без пись-
менного согласия редакции не допускается. Редакция не несет ответственность
за достоверность информации, опубликованной в рекламных материалах.

© РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ, 2010

Номер подписан в печать 23 ноября 2010 г.

Тираж 1000 экз. Цена свободная.

Отпечатано в типографии «МЕДИА-ГРАНД»

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Слово редактора..... | 2 |
| Аналитический обзор деятельности научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети..... | 6 |
| Есть такая кафедра..... | 10 |
| Нанотехнологические проекты МИЭМ: от математических моделей до практических разработок..... | 12 |
| Графен – новый прорыв в области нанотехнологий..... | 17 |
| Конференция по наноструктурным материалам NANO-2010..... | 22 |
| Экспертиза инновационных проектов: нанотехнологии..... | 26 |
| Конструкционные наноматериалы: повышение качества подготовки кадров..... | 27 |
| Каталог нанотехнологических ЦКП..... | 29 |
| Читаем новинки..... | 35 |

Импакт-фактор
РИНЦ

0.721

Публикация статьи
занимает

3 месяца

ЖУРНАЛ «РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ»

входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (далее – Перечень).

Издание входит в Перечень как удовлетворяющее достаточному условию включения в Перечень – включение текущих номеров или переводных версий изданий на иностранном языке в одну из систем цитирования (библиографических баз) Web of Science, Scopus, Web of Knowledge, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris.

Журнал «Российские нанотехнологии» включен в одну из перечисленных систем цитирования – Springer. В этом можно убедиться, зайдя на сайт <http://www.springerlink.com>

Также журнал указан как входящий в Перечень на сайте ВАК.

Как его найти:

Смотрите страницу на сайте ВАК: <http://vak.ed.gov.ru/ru/list/>

Ссылка на список изданий находится в абзаце: Научные периодические издания, отвечающие достаточному условию включения в Перечень – включение текущих номеров или переводных версий изданий на иностранном языке в одну из систем цитирования (библиографических баз) Web of Science, Scopus, Web of Knowledge, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris, в том числе представившие заявки о включении в Перечень.

Англоязычная версия
распространяется

Springer

Публикация
в журнале

бесплатная

Метрология, стандартизация и контроль нанотехнологий

Ю.К. Товбин

Молекулярно-статистическая теория и многомасштабное моделирование физико-химических процессов в нанотехнологиях.36

Нанобиология

Л.А. Дыкман, С.А. Староверов, В.А. Богатырев, С.Ю. Шеголев

Адьювантные свойства наночастиц золота58

НАНО статья

Самоорганизующиеся структуры и наносборки

Л.В. Ерошенко, П.В. Лебедев-Степанов, С.П. Молчанов, Н.А. Чернышов, С.П. Громов, С.К. Сазонов, Н.Н. Шевченко, А.Ю. Меньшикова, М.В. Алфимов

Самосборка ансамблей полистирольных субмикрочастиц, модифицированных стироловым красителем, в испаряющейся микрокапле раствора69

Наноструктуры, включая нанотрубки

А.П. Сафронов, Д.В. Лейман, Д.Н. Благодетелев, Ю.А. Котов, А.В. Багазев, А.М. Мурзакаев

Агрегация наночастиц воздушно-сухих порошков оксида алюминия в процессе повторного диспергирования в водной среде73

Е.И. Кнерельман, Г.И. Зверева, М.Б. Кислов, Г.И. Давыдова, А.В. Крестинин
Характеризация продуктов на основе однослойных углеродных нанотрубок методом адсорбции азота80

Л.И. Сваровская, О.Г. Терехова, В.И. Итин, А.А. Магаева, Е.П. Найден
Наноразмерные композиты SnO_2 , CoFe_2O_4 : получение, свойства и их сорбционная активность88

В.И. Кузьмин, А.Ф. Гадзаев, Д.Л. Тытик, Д.К. Белашенко, А.Н. Сиренко
Методы разделения быстрых и медленных движений атомов как основа анализа динамической структуры наночастиц92

Е.В. Бородина, Ф. Ресснер, С.И. Карпов, В.Ф. Селеменев

Синтез и характеристика органо-неорганических композитных материалов с четвертичными аммониевыми группами на основе мезопористого силиката МСМ-41 . 98

И.П. Суздаев, Ю.В. Максимов, В.К. Имшенник, С.В.Новичихин, М.И. Ивановская, Д.А. Котиков, В.В. Паньков, Ю.В. Любина

Магнитные наноструктуры на основе нанокластеров оксидов железа.104

Нanomатериалы конструкционного назначения

Н.В. Лебухова, К.С. Макаревич, П.Г. Чигрин, Н.Ф. Карпович

Морфология нанопластин MoO_3 , полученных при пиролизе различных органических комплексов молибдена. . .111

Ю.А. Котов, И.В. Бекетов, А.И. Медведев, А.М. Мурзакаев, О.Р. Тимошенко, Т.М. Демина

Формирование карбидной оболочки на поверхности наночастиц алюминия и получение нанопорошков $\text{Al-Al}_4\text{C}_3$ методом электрического взрыва проволоки115

Метрология, стандартизация и контроль нанотехнологий

В.Г. Заводинский

Карбид вольфрама на субнаноуровне: атомная структура, электронные состояния, механические свойства 120

Нанобиология

М.М. Галагудза, Д.В. Королев, Д.Л. Сонин, И.В. Александров, В.Н. Постнов, Г.В. Папаян, Е.В. Шляхто

Пассивная направленная доставка лекарственных препаратов в ишемизированный миокард с использованием наночастиц кремнезема125

Ю.Н. Моргалёв, Н.С. Хоч, Т.Г. Моргалёва, Е.С. Гулик, Г.А. Борило, У.А. Булатова, С.Ю. Моргалёв, Е.В. Понявина

Биотестирование наноматериалов: о возможности транслокации наночастиц в пищевые сети131

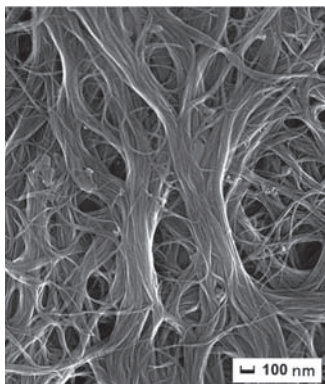
Д.Г. Дерябин, А.С. Васильченко, Е.С. Алешина, А.С. Тлягулова, А.Н. Никиян
Исследование взаимодействия углеродных наноматериалов с клетками *Escherichia coli* методом атомно-силовой микроскопии136

Правила для авторов142

В этом номере

стр.
80

В работе Е.И. Кнерельман и др. предложен новый метод определения важных характеристик продуктов на основе однослойных углеродных нанотрубок (ОСУНТ). Метод Дубинина—Радушкевича дает систематически завышенное значение объема микропор и существенно заниженное значение внешней удельной поверхности ОСУНТ, что может объясняться вкладом мезопор и сильной энергетической неоднородностью поверхности тяжелой ОСУНТ.



ОСУНТ-бумага высокой чистоты, полученная в ИПХФ РАН

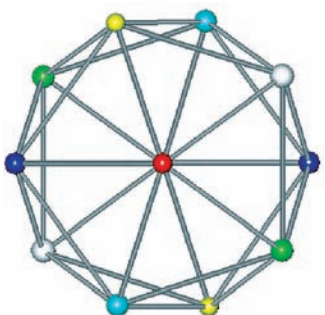
В исследовании В.И. Кузьмина и др. представлены эксперименты с магическими кластерами серебра. В результате обнаружен регулярный характер изменения функции среднего квадрата смещения, который свидетельствует о высокой степени корреляции движений атомов в кластерах.

стр.
92

В исследовании В.И. Кузьмина и др. представлены эксперименты с магическими кластерами серебра.

В результате обнаружен регулярный характер изменения функции среднего квадрата смещения, который свидетельствует о высокой степени корреляции движений атомов в кластерах.

В работе Н.В. Лебуховой и др. рассмотрена возможность получения нанопластин $\alpha\text{-MoO}_3$, которые формируются при окислении молибдена.

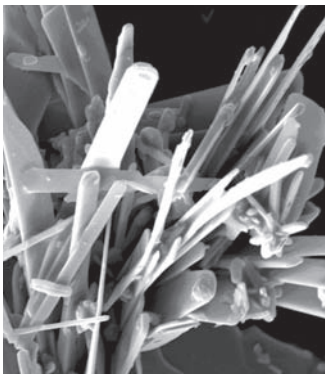


Средние позиции атомов в первой оболочке 147-атомного кластера

стр.
111

В работе Н.В. Лебуховой и др. рассмотрена возможность получения нанопластин $\alpha\text{-MoO}_3$, которые формируются при окислении молибдена.

Исследования показывают, что морфологией кристаллов оксида молибдена можно управлять, используя для их синтеза различные органические прекурсорные соединения молибдена.



ЭСМ-изображение нанопластин $\alpha\text{-MoO}_3$, формирующихся при отжиге соединений молибдена

Первый автор



Твердым сплавам на основе карбида вольфрама посвящена статья (стр. 120) директора Института материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН Виктора Заводинского. Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов» с ориентацией на твердые сплавы. Результаты этих исследований будут использовать в Научно-техническом центре нанотехнологий, который создается в Хабаровском крае Институтом материаловедения совместно с Комсомольским-на-Амуре государственным техническим университетом и Комсомольским-на-Амуре авиационным предприятием им. Ю.А. Гагарина.

На какие принципы вы опираетесь при описании поведения наночастицы?

Наночастицы являются квантовыми объектами, и их поведение (в том числе реакция на деформации) описывается квантовой механикой. Другое дело, что во многих интересных случаях вычислительных мощностей оказывается недостаточно для точного решения уравнений квантовой механики, и тогда в действие вступают различного рода приближения, зачастую приводящие к сомнительным результатам. Я в своих работах стараюсь не отходить далеко от точных решений: в частности, опираюсь на использование теории функционала электронной плотности, разработка которой в свое время была отмечена Нобелевской премией.

Какие характеристики твердых сплавов улучшаются при уменьшении размера кристаллитов?

Квантово-механические расчеты показывают, что твердость и прочность любых кристаллитов возрастает с уменьшением их размера, а характер изменения определяется, главным образом, типом межатомных связей. Однако твердый сплав — это не только жесткие кристаллиты, это еще и сравнительно податливая цементирующая связка. В случае сплавов на основе карбида вольфрама в роли связки чаще всего используют кобальт, и технологи давно уже эмпирически установили, что наилучшее соотношение между твердостью и прочностью достигается при концентрации кобальта в сплаве в пределах 6–8 процентов. Однако это справедливо только для стандартных сплавов, с микронными размерами кристаллитов. Как только вы начинаете дробить микронные кристаллиты, переходите на наномасштабный уровень, общая площадь межкристаллитных промежутков возрастает и имеющегося количества кобальта уже не хватает, чтобы их заполнить. В результате нанокристаллиты стыкуются между собой напрямую, срстаются — и нанокристаллический твердый сплав опять превращается в микрокристаллический. Положение усугубляется еще и диффузией атомов углерода и вольфрама, которая также работает на разрастание крупных кристаллитов за счет мелких. Поэтому улучшение характеристик твердых сплавов — задача комплексная и не решается только уменьшением кристаллитов карбида вольфрама или других твердых материалов. Здесь надо думать и о связке, и о новых технологических приемах.

Как ваши исследования помогут практикам?

Сейчас многие исследователи и технологи понимают, что традиционные приемы (прессование и спекание) не годятся для создания наноструктурных твердых сплавов, и в первую очередь это связано с уже упомянутым ростом кристаллитов во время спекания, с которым пытаются бороться введением добавок — ингибиторов роста, препятствующих диффузии, — уменьшением рабочей температуры за счет приложения давления, использованием электроискрового спекания. Не оставлена без внимания и концентрация кобальта: в наноструктурных твердых сплавах она доходит уже до 16 %, т.е. возросла вдвое. Исследования, проводимые в нашем институте (в частности, моделирование методом конечных элементов), показали, что разрушение твердого сплава начинается в тех местах, где возникают максимальные напряжения. А максимальные и минимальные напряжения возникают тогда, когда твердый сплав неоднороден. Т.е. чем больше разброс кристаллитов по размерам, тем менее прочным будет сплав, и наоборот. Поэтому одно из главных направлений наших исследований — и теоретических, и экспериментальных — выяснить влияние степени однородности твердого сплава на его свойства. Ну и конечно, определить оптимальный размер кристаллитов и прослоек между ними.

До какого размера можно уменьшать кристаллиты в твердых сплавах путем физического воздействия? Будет ли это положительно влиять на свойства материала?

В принципе, современные технологии уже позволяют получать порошки с размером кристаллитов до 5–10 нм даже простым механическим размолом. Использование новых способов спекания и применение ингибиторов позволяют создавать из них сплавы с размером зерна до 50–100 нм. Наверняка физики, химики и технологи продвинулись по этому пути и еще немного дальше. Но размерный предел уже рядом, кристаллиты размером с атом — это нонсенс. Поэтому надо думать о новых материалах, о новых их комбинациях. Вовсе не факт, что материалы, традиционно используемые в макромире в качестве самых твердых и прочных, не встретят в наном мире достойных себе соперников. И квантово-механическое моделирование — очень подходящий инструмент для поиска таких нетрадиционных материалов.

Аналитический обзор деятельности научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети

Д. т. н., проф. Н.М. Емелин; к.т.н., доц. Ю.Н. Артамонов; к. т. н., доц. В.О. Мелихов
 Федеральное агентство по образованию ФГНУ «ГосМетодЦентр», 115998, ГСП-8,
 Москва, ул. Люсиновская, 51
 E-mail: bomelihov@mail.ru



Исследование образовательного сегмента национальной нанотехнологической сети (ННС) проводилось на основе данных мониторинга научно-образовательных центров (НОЦ), выполненного в 2010 году (для НОЦ университетов, перечисленных в Таблице 1) в рамках мероприятий Федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2011 годы». Проведенные исследования включают в себя результаты анализа эффективности организации научно-образовательной деятельности, прогноз и предложения по целесообразному развитию материально-технической базы, кадрового потенциала НОЦ и совершенствованию образовательного процесса с целью подготовки кадров для наноиндустрии.

РАЗВИТИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ НОЦ ННС

Анализ развития материально-технической базы НОЦ в региональном разрезе показал, что максимальная суммарная балансовая стоимость оборудования приходится на центральные регионы — Москву и Санкт-Петербург (рис. 1). Вместе с тем, по данным мониторинга интенсивность использования оборудования в Москве, Санкт-Петербурге — ниже среднего уровня. Лидирующее же положение по интенсивности использования оборудования занимают: Ростовская область, Томская область, Владимирская область (рис. 2).

В составе материально-технической базы (МТБ) НОЦ больше всего оборудования относится к категориям иссле-

довательского (350 единиц) и научно-технологического (119 единиц) оборудования. Наименьшая доля приходится на специализированное учебное оборудование. Наибольшую суммарную стоимость имеет уникальное дорогостоящее оборудование в Санкт-Петербурге. В Москве наибольшую долю составляет научно-технологическое и исследовательское оборудование. Следует отметить также Ростовскую область с наибольшей долей оборудования в категории «комплекс».

Таким образом, текущее развитие МТБ НОЦ может рассматриваться как существенный задел в построении технического обеспечения образовательного сегмента ННС, однако в ряде случаев (в первую очередь в хорошо оснащенных центральных регионах) требуется интенсификация использования оборудования.

Кроме того, целесообразно увеличить интенсивность использования уникального оборудования в НОЦ:

- ЯкутГУ; НГУ; ВятГУ; РГУ Канта; ЮУГУ; СпбГГИ; ТюмГУ;
- исследовательского оборудования в НОЦ: НГТУ; СпбГГИ; РГУНГ; СГАУ; ДвПИ; ЮУГУ (рис. 3).

При дальнейшем дооснащении образовательного сегмента ННС оборудованием повышенное внимание следует обратить на НОЦ с наибольшим количеством новых рабочих мест, приходящихся на одну единицу оборудования при малом общем количестве единиц оборудования:

- Челябинская область (6 рабочих мест на 1 единицу оборудования);
- Самарская область (5 рабочих мест на 1 единицу оборудования);
- Владимирская область (4 рабочих места на 1 единицу оборудования);
- Республика Башкортостан (3 рабочих места на 1 единицу оборудования);
- Калининградская область (3 рабочих места на 1 единицу оборудования);
- Нижегородская область (3 рабочих места на 1 единицу оборудования).

Важным фактором, способствующим развитию отечественной наноиндустрии, является уровень участия оборудования ННС в коллективном доступе (рис. 4). Вместе с тем при коллективном использовании МТБ НОЦ большая доля выполняемых работ относится к научно-исследовательским работам, в которых внешними органи-

зациями выступают в основном государственные образовательные учреждения. В то же время коммерческие, инновационные организации, выполняющие опытно-конструкторские, технологические работы и способствующие коммерциализации отрасли, взаимодействуют лишь с тремя НОЦ: СГУ (6 организаций); ВлГУ (5 организаций); ТУСУР (1 организация), что явно недостаточно, чтобы говорить о создании устойчивых связей НОЦ с производительным сегментом ННС.

Для привлечения внешних организаций видится целесообразным проведение межрегиональных форумов, выставок, конференций с приглашением к участию представителей крупных промышленных организаций.

Анализ динамики изменения заявленных в НОЦ тематических направлений в промежутке с 2008 по 2010 год показал сокращение количества поддерживаемых тематических направлений ННС, что связано с усилением уровня специализации НОЦ (рис. 5).

При этом видно, что ряд тематических направлений ННС не находят должного отражения в научно-образовательной деятельности НОЦ: в частности, «Функциональные наноматериалы для космической техники» (поддерживает только один НОЦ – ННГУ); «Нанотехнологии для систем безопасности» (поддерживает два НОЦа – ЛЭТИ, ЮФУ). Другим фактором негативного плана является то, что ряд НОЦ заявляют тематические направления, для реализации которых не располагают достаточной материально-технической базой, обеспечивая направления в большей степени теоретическими исследованиями и лекционной образовательной подготовкой.

В этой связи можно отметить, что наиболее наглядно материально-техническую обеспеченность определенного направления в ННС характеризует отношение суммарного количества единиц оборудования к заявленным результатам (рис. 6). Например, одному результату по тематическому направлению «Конструкционные наноматериалы» соответствует 4.94 единицы оборудования. Полученные коэффициенты косвенно характеризуют прикладную и экспериментальную направленность исследований. В частности, можно сделать вывод, что исследования по тематическим направлениям «Нанотехнологии для систем безопасности», «Нанобиотехнологии», «Наноинженерия», «Функциональные наноматериалы для космической техники» в настоящий момент носят в большей степени теоре-

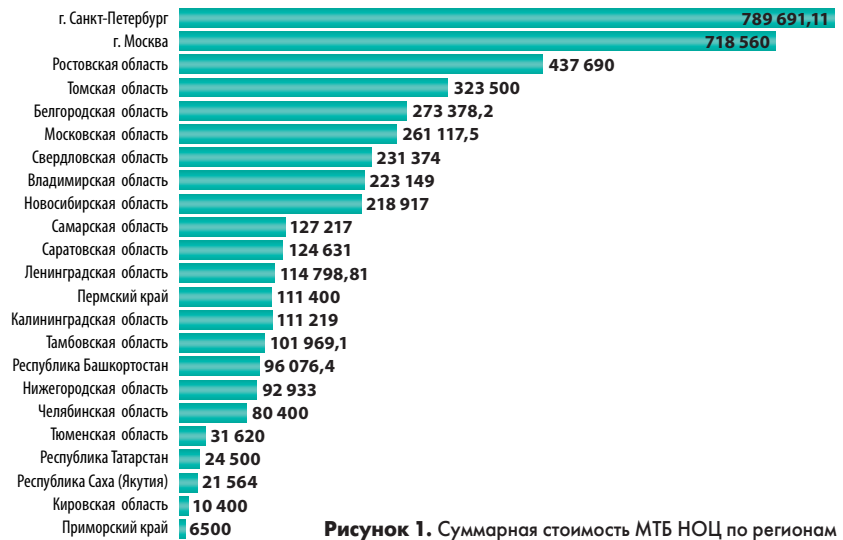


Рисунок 1. Суммарная стоимость МТБ НОЦ по регионам

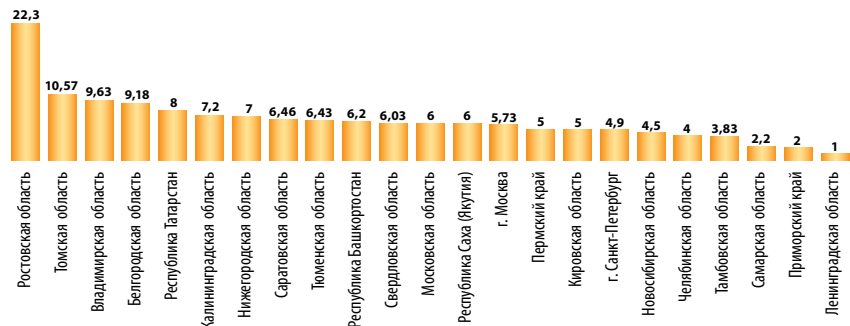


Рисунок 2. Средняя интенсивность использования МТБ НОЦ по регионам

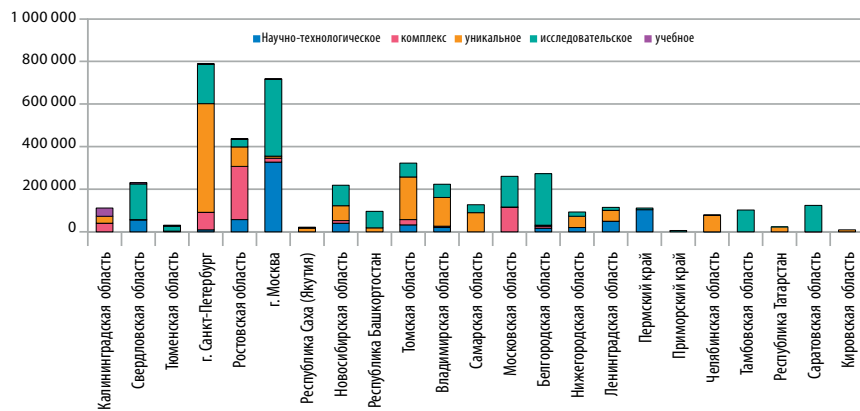


Рисунок 3. Суммарная стоимость МТБ НОЦ по категориям и регионам

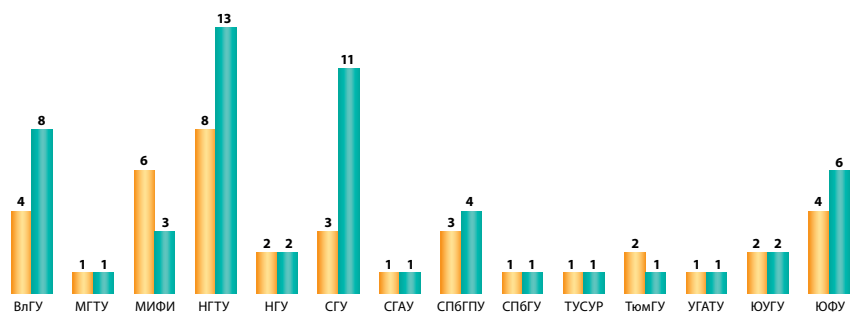


Рисунок 4. Уровень участия оборудования ННС в коллективном доступе

Таблица 1. Университеты образовательного сегмента наноиндустрии

| Университет НОЦ | Сокращенное название |
|--|----------------------|
| Белгородский государственный университет | БелГУ |
| Владимирский государственный университет | ВлГУ |
| Вятский государственный университет | ВятГУ |
| Дальневосточный государственный технический университет им. В.В. Куйбышева | ДвПИ |
| Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева | КазГТУ |
| Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) | ЛЭТИ |
| Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана | МГТУ |
| Московский государственный строительный университет | МИСИ |
| Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов» | МИСиС |
| Московский инженерно-физический институт (государственный университет) | МИФИ |
| Московский государственный институт электронной техники (технический университет) | МИЭТ |
| Московский педагогический государственный университет | МПГУ |
| Московский энергетический институт (технический университет) | МЭИ |
| Новосибирский государственный технический университет | НГТУ |
| Новосибирский государственный университет | НГУ |
| Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского | ННГУ |
| Пермский государственный технический университет | ПГТУ |
| Российский государственный университет им. Иммануила Канта | РГУ Канта |
| Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина | РГУНГ |
| Российский университет дружбы народов | РУДН |
| Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева | СГАУ |
| Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского | СГУ |
| Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет) | СПбГГИ |
| Санкт-Петербургский государственный политехнический университет | СПбГПУ |
| Санкт-Петербургский государственный университет | СПбГУ |
| Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики | СПбГУ ИТМО |
| Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина | ТГУ |
| Томский государственный университет | ТомГУ |
| Томский политехнический университет | ТПУ |
| Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники | ТУСУР |
| Тюменский государственный университет | ТюмГУ |
| Уфимский государственный авиационный технический университет | УГАТУ |
| Уральский государственный университет им. А.М. Горького | УГУ |
| Уральский государственный технический университет – УПИ | УПИ |
| Южно-Уральский государственный университет | ЮУГУ |
| Южный федеральный университет | ЮФУ |
| Якутский государственный университет имени М.К. Аммосова | ЯкутГУ |

тический характер и, наоборот, тематические направления «Конструкционные наноматериалы», «Функциональные материалы и высокочистые вещества», «Композитные наноматериалы», «Нанозлектроника», «Функциональные наноматериалы для энергетики» в большей степени имеют прикладной, экспериментальный характер.

Отмеченное обстоятельство также подтверждается диаграммой, характеризующей отношение стоимости оборудования к заявленным результатам, где наибольшая стоимость оборудования, приходящаяся на один заявленный результат, относится к тематическим направлениям «Нанозлектроника», «Функциональные материалы и высокочистые вещества» (рис. 7).

В целом наибольшая материально-техническая вооруженность НОЦ по тематическим направлениям ННС приходится на «Композитные наноматериалы» и «Конструкционные наноматериалы», которые поддерживают 17 НОЦ (среди которых лидируют МИСиС, НГТУ, БелГУ).

При этом необходимо заметить, что одновременно ряд НОЦ имеют более высокий по сравнению с другими уровень использования оборудования по тематическим направлениям (МИСиС, ВлГУ, ЮУГУ, СПбГГИ). Недостаточный на общем фоне уровень использования оборудования по тематическим направлениям наблюдается в НОЦ МИСИ, КазГТУ, ДвПИ (рис. 8).

С учетом динамики увеличивающейся специализации НОЦ особенно важно сохранить научный и стимулировать коммерческий интерес к тематическим направлениям «Нанотехнологии для систем безопасности», «Функциональные наноматериалы для космической техники», «Нанобиотехнологии», «Наноинженерия». Для этого следует:

- продолжить дооснащение оборудованием НОЦ с соответствующей специализацией: ННГУ, ЛЭТИ, ЮФУ, ВлГУ, СГУ, СПбГПУ, МИЭТ, МИФИ;
- расширять образовательные программы по подготовке бакалавров, магистров по указанным профилям подготовки;
- стимулировать организации к проведению научных исследований по указанным направлениям на конкурсной основе в рамках ведомственных, федеральных целевых программ.

Продолжение читайте в № 1–2 журнала «Российские нанотехнологии» в 2011 году.



Рисунок 5. Распределение участия НОЦ по тематическим направлениям ННС



Рисунок 6. Материально-техническая обеспеченность направления



Рисунок 7. Отношение стоимости оборудования к заявленным результатам по направлениям ННС

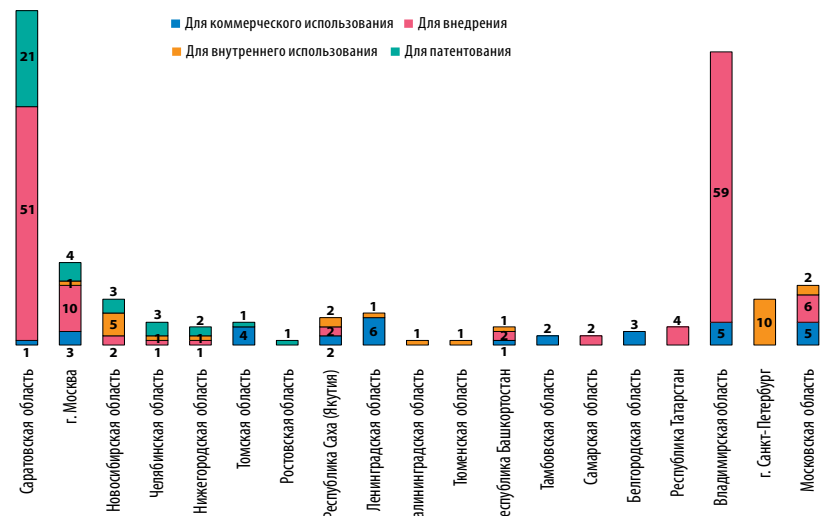


Рисунок 8. Уровень использования оборудования по тематическим направлениям

Есть такая кафедра...

Среди студентов Южного федерального университета есть те, кто избрал своей будущей профессией работу в области новейших технологий – они учатся на кафедре «Нанотехнологии» физического факультета. Полученные в вузе знания найдут применение в науке, образовании и высокотехнологическом производстве. О самой кафедре и учебном процессе рассказывает заведующий кафедрой «Нанотехнологии» ЮФУ Юрий Иванович Юзюк.



Первый выпуск магистров-нанотехнологов ЮФУ состоялся 10 июля 2010 года

Когда было введено направление «Нанотехнологии» и создана кафедра «Нанотехнологии» в Университете?

Кафедра «Нанотехнологии» создана на физическом факультете тогда еще Ростовского государственного университета (РГУ) в 2004 году по инициативе декана физического факультета Л.М. Рабкина и академика В.И. Минкина. В 2006 году вузу присвоили название Южный федеральный университет. В сентябре 2005 года из числа студентов 2-го курса была сформирована первая группа из 12 человек. В эту группу вошли ребята, которые рискнули сменить направление подготовки и изучать нанотехнологии. К нам на кафедру пришли ребята, которые поступали на специальности «физика», «радиофизика», «телекоммуникации», «микроэлектроника и твердотельная электроника», возникли нестыковки в учебных планах, но ребята с блеском их преодолели, сдав дополнительные экзамены. Очень быстро эта группа стала лучшей на физическом факультете, установившая рекорды по успеваемости. В нашей

стране термин «нанотехнология» еще не был столь популярен.

В средствах массовой информации о нанотехнологиях заговорили только в 2006 году, поэтому для ребят это был в какой-то степени риск, но мне кажется, они не пожалели.

Какие задачи ставили перед собой создатели кафедры? Была ли необходимость выделения отдельной кафедры «Нанотехнологии» и разве недостаточно было изучать нанотехнологии на других кафедрах?

Очень часто одной из кафедр, а то и целому факультету вуза присваивается статус «Нано», но от этого суть учебного процесса принципиально не меняется, а лишь слегка подгоняется под модные названия и рамки. В Ростове поступили иначе. Под новое направление подготовки была создана новая кафедра, в состав которой вошли выпускники разных кафедр физфака РГУ, которые в 2005 году работали в разных подразделениях: на кафедрах общей физики и физики твердого тела, в НИИ физи-

ки РГУ, НИИ механики и прикладной математики РГУ и Южном научном центре РАН (ЮНЦ РАН).

Базовый коллектив формировался почти год, и главными критериями были научно-исследовательская работа в области создания и исследования наноматериалов и желание создавать принципиально новые курсы и практикумы. Постепенно штатный состав расширился за счет перевода преподавателей с других кафедр факультета, и в настоящее время на кафедре работают пять докторов и семь кандидатов наук. Совместителями на кафедре работают представители академической науки, и в 2010 году кафедра стала базовой кафедрой ЮНЦ РАН.

Будет ли выпускник кафедры «нанотехнологии» знать принципиально что-то иное помимо физики твердого тела, квантовой механики?

Да, у нас есть специальные курсы, посвященные методам получения наноматериалов, которые в курсах классического потока физиков не преподаются. Наши студенты изучают импульсное лазерное осаждение, молекулярно-лучевую эпитаксию, магнетронное и катодное распыление, осаждение из газовой фазы, карботермический синтез, технологии получения наночастиц и многое другое. Методы исследования наноматериалов тоже имеют свою специфику, и об этом знают наши выпускники.

Что касается теоретической подготовки, то наши студенты слушают курс квантовой механики вместе со всеми физиками, но в магистратуре у них есть дополнительный спецкурс об особенностях квантовых эффектов в низкоразмерных системах. Курс физики конденсированного состояния у нанотехнологов такой же, как и у физиков, но кроме кристаллов они изучают нанотрубки, фуллерены и графен в отдельном курсе «Физико-химия наноструктурированных материалов». Дипломная работа по рамановским спектрам графена у нас защищалась в 2008 году. Колебательные спектры фуллеренов или нанотрубок – темы для курсовых работ и докладов на студенческих конференциях. Основы зондовой микроскопии студенты изучают в учебном классе «Наноэдиокатор», который у нас появился еще в декабре 2005 года. Есть специальный практикум по синтезу наноматериалов методами импульсно-лазерного распыления. Совместно с химическим факультетом создан практикум «Физико-химия наноматериалов», в рамках которого студенты синтезируют нанокатализаторы и изучают их каталитические свойства на кафедре электрохимии, размеры частиц определяют по

дифракции рентгеновских лучей в лаборатории структурного анализа в НИИ физики, а посмотреть на частицы могут с помощью электронного микроскопа на кафедре. Научной работой студенты занимаются с 3-го курса в лабораториях кафедры, НИИ физики, НИИ механики и прикладной математики, ЮИЦ РАН и Ростовского НИИ радиосвязи.

Подготовка специалистов-нанотехнологов невозможна без материально-технической базы. Предоставлено ли студентам необходимое оборудование?

В 2006 году на базе РГУ был образован Южный федеральный университет, и благодаря нацпроекту «Образование» приобретено профессиональное оборудование для научных исследований: Зондовая лаборатория Интегра, сканирующий электронный микроскоп Zeiss Supra-25, рамановский спектрометр Renishaw и ряд установок для синтеза. Обращались в ГК «Роснанотех» с образовательным проектом, целью которого было приобретение технологического оборудования для подготовки кадров, но поддержки не получили. Сейчас активно ищем спонсоров.

Как построен учебный план, какие дисциплины изучают студенты?

Учебный план построен в соответствии с образовательным стандартом по направлению подготовки 210600 «Нанотехнология». Система подготовки двухуровневая: четыре года бакалавриат, а затем два года магистратура. В бакалавриате кроме курсов математики, информатики, физики и химии студенты изучают физику конденсированного состояния, квантовую механику, статистическую физику и термодинамику, физико-химию наноструктурированных материалов, физику полупроводников и диэлектриков. Несколько специальных курсов основаны на научных разработках сотрудников кафедры. В моде сейчас дистанционное обучение и виртуальные учебно-методические комплексы, но мы делаем упор на практическую подготовку.

В бакалавриате студенты проходят четыре практикума. Хороший специалист должен уметь работать руками и чувствовать доверенный ему аппарат, уметь его настраивать, понимать процесс эксперимента или синтеза на всех этапах.

В магистратуре все студенты проходят практикум на сложных приборах, таких как электронный микроскоп, рентгеновский дифрактометр, атомно-силовой микроскоп и рамановский спектрометр.

Все студенты начиная с четвертого курса обязательно участвуют в студенческих конференциях как у нас на физфаке, так и в других вузах. Наши студенты



Юрий Юзюк: «Наши выпускники будут востребованы в науке, образовании и высокотехнологическом производстве»

выступали с докладами в МГУ на студенческой конференции «Ломоносов», на Всероссийской студенческой конференции физиков, на Роснанофоруме, успешно выступали на Всероссийской олимпиаде по нанотехнологиям в МГУ. Несколько студентов выезжали и на международные конференции в Финляндию и Францию. В процессе обучения в магистратуре несколько студентов были слушателями школы по оптической спектроскопии в МФТИ и летней школы в Курчатовском институте.

В рамках международных проектов с Университетом Монпелье двое студентов выезжали туда на практику. Сейчас готовим новую партию студентов четвертого курса для поездки во Францию.

Был ли уже выпуск кафедры и сколько всего выпускников?

В этом году состоялся первый выпуск магистров. Все десять работ защищены на «отлично». Пятеро из выпускников поступили в аспирантуру на кафедру. Наш выпускник Дмитрий Левшов получил стипендию французского правительства на обучение в двойной аспирантуре во Франции. В течение каждого из трех лет аспирантуры он будет шесть месяцев работать над диссертацией в Университете Монпелье и шесть месяцев в Ростове. После защиты получит два кандидатских диплома – российский и французский.

Какими знаниями овладеют выпускники и где смогут их применить?

Наши выпускники будут востребованы в науке, образовании и высокотехнологическом производстве. Мы ведем целевую подготовку для Ростовского НИИ радиосвязи, и в этом году двое выпускников поступили туда на работу.

Как базовая кафедра мы готовим кадры для Южного научного центра РАН. В этом году один из лучших наших

выпускников Андрей Анохин стал сотрудником академической лаборатории и поступил в аспирантуру, а значит, научная карьера ему обеспечена.

Сколько сейчас человек обучается на кафедре «Нанотехнологии»?

На всех курсах сейчас обучается 87 студентов. С 2010 года набор на первый курс увеличен с 15 до 25, поэтому количество студентов будет увеличиваться. В магистратуру в этом году поступили 12 человек, в будущем году планируем 15.

Есть ли у студентов уже публикации в научных журналах?

В 2010 году с участием студентов опубликовано пять статей и 13 тезисов докладов на всероссийских и международных конференциях. Тематика разнообразная: синтез и рентгеноструктурные исследования наноразмерных катализаторов, спектры комбинационного рассеяния света углеродных нанотрубок, сегнетоэлектрических пленок и сверхрешеток, получение и исследование пленок и наностержней оксида цинка.

Все поступившие в этом году в аспирантуру наши выпускники уже имеют научный задел в виде опубликованной или принятой в печать статьи. Особо отличился Андрей Анохин, который до поступления в аспирантуру уже был соавтором трех статей. Да и среди подрастающего поколения есть таланты – например, Роман Шаховой защищал выпускную работу бакалавра по публикации в журнале Applied Physics Letters.

Ведется ли работа по привлечению абитуриентов?

Основы нанотехнологий активно преподаются в некоторых школах Ростова с 2007 года. Научно-образовательный комплекс лицей-университет «Изучение наномира – шаг в будущее», созданный на базе кафедры нанотехнологии ЮФУ и МОУ «Лицей классический № 1» г. Ростова-на-Дону был удостоен диплома на XI Всероссийском форуме «Образовательная среда 2009» и диплома лауреата III Международного конгресса-выставки «Global Education – Образование без границ 2009».

Кроме подшефного лицея преподаватели и студенты кафедры регулярно читают лекции факультативного курса «Введение в нанотехнологию» и в других школах города. В лабораториях кафедры регулярно проводятся занятия со старшеклассниками, где они знакомятся с зондовой и электронной микроскопией.

Беседовала Мария Морозова, РИ

Нанотехнологические проекты МИЭМ: от математических моделей до практических разработок

*В.П. Кулагин, Б.Г. Львов,
А.Н. Пономарев, В.В. Рыбалко,
Н.К. Трубочкина
E-mail: bgl@miem.edu.ru*

МИЭМ, сохраняя научно-образовательные традиции и активно используя междисциплинарные связи, ориентирован на развитие магистральных направлений науки и техники с одновременной подготовкой квалифицированных кадров для этих направлений. В первую очередь это нанотехнологии в многообразии их развития, а также сопутствующие им традиционные отрасли электроники, материаловедения, аналитической техники и машиностроения.

МИЭМ готовит специалистов по 13 направлениям и 20 специальностям в сфере прикладной математики, электроники и микроэлектроники, космического и радиационного материаловедения, электронного машиностроения, индустрии наносистем и материалов, радиотехники и связи; информатики и вычислительной техники, управления и автоматизации. Эти направления создают необходимую мультидисциплинарную среду для успешного осуществления научно-образовательных проектов в сфере нанотехнологий и наноинженерии.

В МИЭМ проводят комплексные научные исследования в области нанотехнологий и наноинженерии в четырех взаимосвязанных направлениях:

- математическое моделирование наноструктур;
- проектирование вычислительных 3D-наносистем;
- разработка технологий наномодификации материалов;
- разработка новых методов и устройств формирования наноструктур и диагностики их параметров.

Для решения математических проблем при разработке нанотехнологий и наноустройств в университете создан Научно-образовательный центр (НОЦ) «Квантовая математика». Руководит центром профессор М.В. Карасев. В центре проводятся комплексные исследования математических моделей наносистем ловушечного типа, играющих важную роль в целом ряде базовых устройств



Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)

МИЭМ

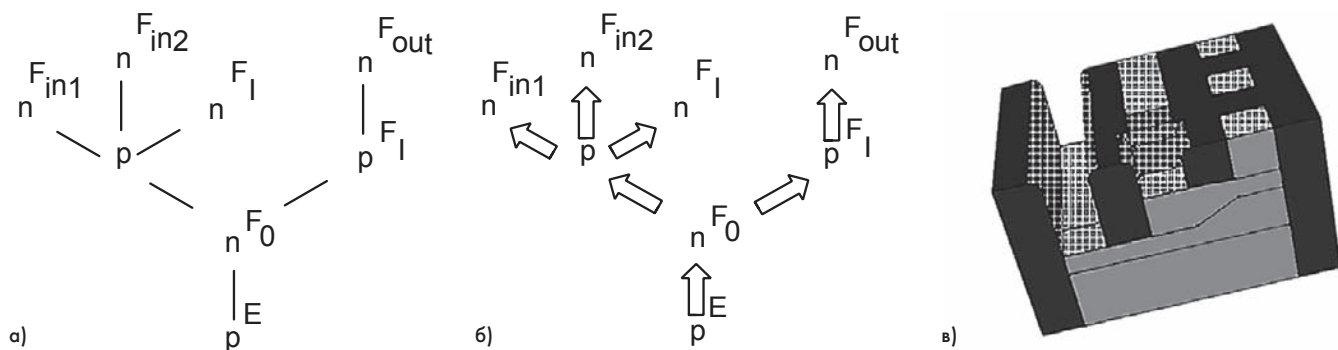


Рисунок 1. Переход от математической модели переходного элемента И-НЕ к интегральной структуре: а) переходная математическая модель элемента И-НЕ на два входа, ($N = 8$); б) структурная формула – результат применения процедуры генерации; в) 3D-слоистая переходная структура И-НЕ – основа для моделирования

и процессов в нанотехнологиях. Изучаемый класс наносистем обладает некоторыми критическими особенностями, которые, с одной стороны, связаны с очень интересными физическими явлениями, а с другой стороны, создают препятствия для применения традиционных аналитических подходов, делая эти подходы неэффективными и порождая серьезные проблемы для математического моделирования. В последнее время в этой области произошел серьезный прорыв, связанный с применением идей квантовой математики.

При Центре выпускается научный журнал «Наноструктуры. Математическая физика и моделирование» и проводится Всероссийская школа-семинар «Наноструктуры, модели, анализ и управление».

Важнейшее направление нанотехнологий – наноэлектроника, поставляющая элементную базу для вычислительных систем и суперкомпьютеров настоящего и будущего. Для проектирования новой элементной базы суперкомпьютеров разрабатывается теория переходной схематехники с использованием алгоритмов синтеза оптимальных математических моделей и моделирования физических процессов в 3D-слоистых физических средах наноструктур [1, 2].

В 2008 году в МИЭМ был реализован новый концептуальный проект – создан НОЦ N3D (Nano-3D) по математическому синтезу и компьютерному моделированию новой элементной базы. Функционирование данной элементной базы определяется наноструктурой. Размер ее упорядоченных фрагментов составляет от 1 до 100 нанометров.

В НОЦ наряду с решением теоретических задач ведется разработка методов, алгоритмов, программного обеспечения для создания новой элементной базы компьютеров. Методика создания новых наноструктур элементов (логических и памяти) включает в себя решение следующих задач:

- этап 1 – синтез математической модели элемента (рис. 1а);
- этап 2 – генерация наноструктуры (рис. 1б и 1в);
- этап 3 – моделирование физических и электрических параметров наноструктуры;
- этап 4 – тестирование наноструктуры (определение области работоспособности).

В области нанотехнологий и наноинженерии ведутся исследования,

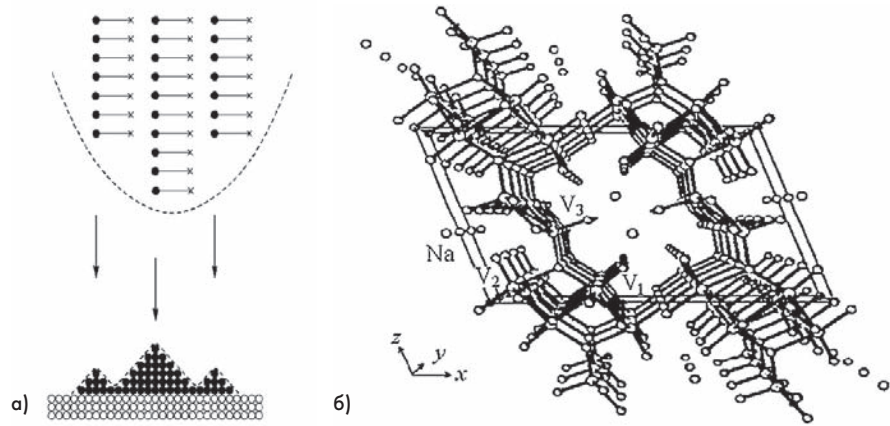


Рисунок 2. Способ формирования наноструктур с использованием зонда из монокристалла оксидной ванадиевой бронзы натрия: а) образование нанорельефа на поверхности подложки при испарении атомов из каналов нанотрубок зонда; б) пространственная кристаллическая структура оксидной ванадиевой бронзы

направленные на получение новых знаний в области нанобъектов и наноструктурированных материалов и разработку на их основе технологических материалов, методов и оборудования, ориентированных на применение в нанотехнологиях. Работы ведутся в двух НОЦах – «Концентрированные потоки энергии и их воздействие на материалы» и «Электронно-вакуумные технологии и техника в наноинженерии». Для студентов, аспирантов и молодых ученых Центрами проводятся всероссийские и межвузовские научные школы «Концентрированные потоки энергии в индустрии наносистем, материалов и живых систем», «Радиационная физика твердого тела», «Функциональные наноматериалы для космической техники», «Вакуумная наука и техника».

В институте разработан новый высокопроизводительный способ формирования наноструктур из отдельных атомов с использованием иглы-зонда

из монокристалла оксидной бронзы [3]. Такой нанофабрикатор позволяет собирать объекты из атомов – аналогично тому, как собирается дом из отдельных кирпичей (рис. 2).

Разработанный способ типа bottom-up реализуется с помощью специального зонда, который представляет собой трубчатый канал, одновременно выполняющий роль транспортера и канала подачи материала на подложку, а также устройство перемещения зонда в направлении подложки и вдоль ее поверхности и устройство контроля в виде микроскопа высокого разрешения. В объеме зонда находятся протяженные структурные каналы наноразмерного диаметра с запасом эмиссионно-активных атомов (в литературе подобные структуры относят к типу «элемент-гость» – «решетка-хозяин»). Устройство перемещения зонда и микроскоп высокого разрешения объединены в сканирующем туннельном микроскопе.

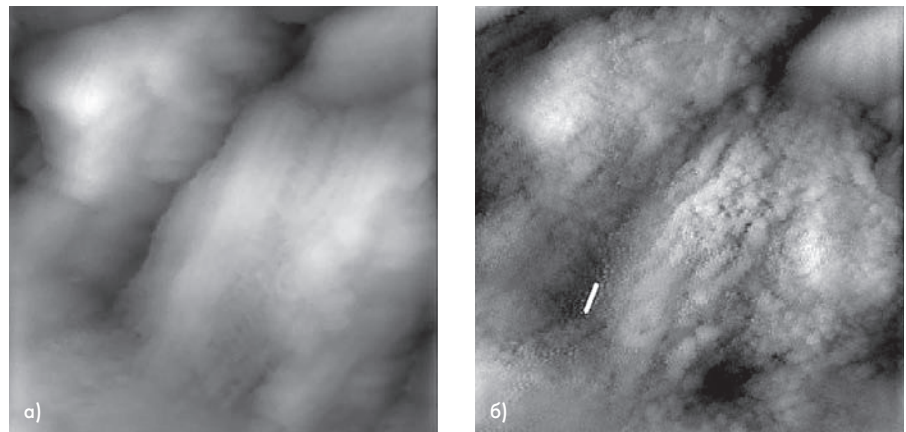


Рисунок 3. Микрофотографии конденсации атомов натрия на поверхности золотой подложки: а) – до конденсации; б) – после конденсации



Рисунок 4. Примеры промышленного применения наномодифицированных материалов: Московская монорельсовая дорога, построенная с использованием сплава БрНХК(ф) (слева), и автомобильный мост через Волгу, реставрированный с применением легких бетонов нового поколения (справа)

Материалом зонда с эмиссионно-активными атомами элементов внедрения может служить монокристалл какой-либо оксидной бронзы с общей формулой $A_xM_yO_z$, где А – элемент внедрения, М – элемент бронзообразующего оксида, О – кислород.

Тепловое и электрическое возбуждение в структурных каналах наноразмерных кристаллов бронзы создает поток единичных атомов на поверхность подложки. Если систему «зонд-подложка» сконструировать определенным образом, то произойдет контролируемая одноатомная конденсация на подложке для создания различных элементов нанoeлектронных приборов. На рис. 3 приведены микрофотографии поверхности золотой подложки с осажденными атомами натрия.

Устройство, реализующее данный способ, и материал, из которого изготавливают нанозонды, защищены патентами РФ.

Эта разработка имеет перспективы применения в технологиях синтеза новых материалов, производства изделий нанoeлектроники, в нанороботехнике, исследованиях свойств поверхности.

Специалисты МИЭМ принимают активное участие в промышленном внедрении наномодифицированных материалов различного применения. Примером такой работы является организация производства и серийные поставки токоёмных узлов – троллеев – для строительства линии Московской монорельсовой дороги. Троллеи изготавливались из бронзового сплава БрНХК(ф), легированного углеродными наночастицами – астраленами [4, 5]. Материал был создан в НТЦ «Прикладные нанотехнологии» (Санкт-Петербург). Сплав БрНХК(ф) наноструктурированный, дисперсионно-твердеющий, электротехнического назначения – это принципиально новый материал. В отличие от аналогов (БрБ2, БрНБТ, БрХ1 и других) бронза БрНХК(ф) сочетает в себе высокие твердость и электропроводность. На рис. 4 приведены примеры промышленного использования наномодифицированных материалов.

Изделия, выполненные из сплава БрНХК(ф), отличаются повышенной износостойкостью и высокой температурной стабильностью. Области применения сплава БрНХК(ф):

- замена сплавов БрНБТ, БрХЦр, БрХ1, МКБ, БрКН, применяемых для изготовления электродов сварки сопротивлением;
- части машин и электроды для всех видов контактной сварки;
- приборные электрические соединители;
- обмотки силовых магнитных систем;
- наконечники для полуавтоматической сварки;
- электротехническое оснащение транспортной сети.

Открытые группой исследователей под руководством А.Н. Пономарёва фуллероидные углеродсодержащие наночастицы – астралены – создали широкие перспективы для производства гаммы наномодифицированных материалов. В частности, работы по модификации астраленами строительных смесей привели к появлению нескольких строительных материалов с уникальными свойствами и технологиями их производства. Разработки наномодифицированных легких бетонов (НЛБ) дошли до промышленного применения. Этот новый сорт строительных материалов использовался для реконструкции трех мостов через Волгу и Вятку (рис. 4, 5). Применение НЛБ обеспечило сокращение сроков реконструкции моста через реку Волгу в городе Кимры Тверской области почти в полтора раза.

В настоящее время развитие микро- и нанoeлектроники, а также оптики основано на получении и использовании тонких и сверхтонких пленок различных материалов. В большинстве случаев контроль параметров наноразмерных пленок

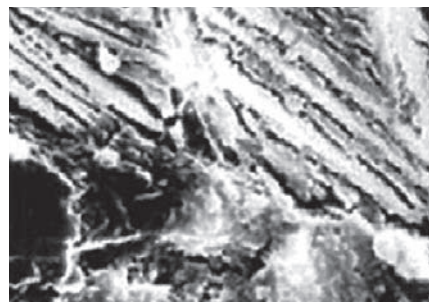
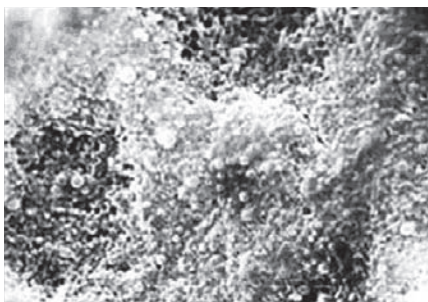


Рисунок 5. Структура исходного (слева) и наномодифицированного (справа) легкого бетона

осуществляется после завершения процесса их формирования ex-situ методами, которые имеют ограничения, связанные с процессами адсорбции, окисления и диффузии на поверхности материалов после их извлечения из технологической камеры. Уникальную возможность определения толщины, скорости роста, шероховатости и плотности растущей пленки в реальном времени обеспечивает метод in-situ рентгеновской рефлектометрии, разработанный в лабораториях МИЭМ [6, 7].

Метод может составить сильную конкуренцию существующим методам контроля пленок нанометровой толщины (лазерной эллипсометрии и интерферометрии, внутрикамерной зондовой микроскопии, дифракции электронов, ультразвуковым методам), так как:

- является неразрушающим методом контроля;
- позволяет контролировать толщину слоев в диапазоне 1–100 нм;
- позволяет оценивать шероховатость границ раздела, не превышающую 2 нм;
- дает возможность восстановления профиля распределения плотности по толщине наноразмерного слоя;
- не имеет ограничений к типу исследуемых материалов в любых сочетаниях пленка–подложка;
- не влияет на ход технологического процесса, т.к. измерительная система вынесена за пределы рабочей камеры;
- дает возможность изучения начальных стадий роста пленок без прерывания технологического процесса.

На рис. 6 приведен внешний вид созданной экспериментальной установки вакуумно-технологического комплекса для напыления наноразмерных пленок различных материалов с рентгеновской рефлектометрической диагностической системой.

Система in-situ рентгеновского мониторинга может найти широкое практическое использование в технологиях получения многослойных металлических и полупроводниковых пленок, покрытий с низкой диэлектрической проницаемостью и может применяться для мониторинга как процесса осаждения, так и травления. Использование in-situ рентгеновской рефлектометрии может значительно сократить и упростить процесс разработки новых технологий получения

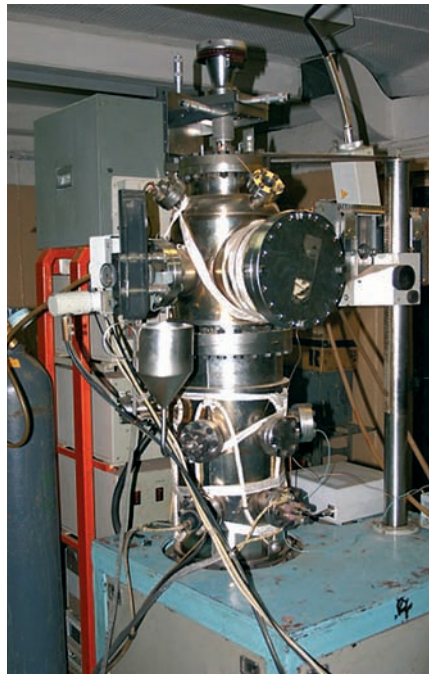


Рисунок 6. Экспериментальная установка вакуумно-технологического комплекса для напыления наноразмерных пленок различных материалов с рентгеновской рефлектометрической диагностической системой

наноразмерных пленок, обеспечив тем самым существенное снижение затрат на разработку.

В университете решается фундаментальная проблема физической электроники, связанная с проведением комплексных теоретических и экспериментальных исследований воздействий инжектированных электронов на структуры металл–диэлектрик–полупроводник, приводящих к их модификации, что позволит создать новый класс приборов с изменяемыми параметрами для микро- и нанoeлектроники, использующими изменение

характеристик центров захвата носителей заряда в диэлектрических слоях и на границах раздела [8, 9]. Разработаны оригинальные способы модификации МДП-структур сильнополевой инжекцией электронов, протонным облучением и плазменной обработкой, позволяющие снизить зарядовую дефектность и повысить радиационную стойкость интегральных схем и полупроводниковых приборов с такого типа структурой.

При участии сотрудников института создана технология инжекционной модификации структур металл–диэлектрик–полупроводник для микро- и нанoeлектроники. На основе выполненных исследований, целью которых было изучение микро- и наноразмерных диэлектрических пленок в МДП-приборах со структурой SiO₂ и SiO₂-ФСС (где ФСС – фосфорно-силикатное стекло), сконструированы два новых полупроводниковых прибора: высоковольтный слаботочный стабилизатор тока (МС-СТ1 ТВО 205.002-16 ТУ) и низковольтный слаботочный стабилитрон (МС-СН1 ТВО 205.002-15 ТУ). Оба прибора серийно производятся на ОАО «Восход» в Калуге.

В научно-исследовательских работах активно участвуют студенты и аспиранты МИЭМ, за последние 3 года ими получено 38 патентов РФ на изобретения и полезные модели, сделано 114 докладов на российских и международных конференциях. Научные и практические разработки нашли отражение в российских и международных выставках, в которых институт регулярно участвует: NTMEX, SEBIT, Международный форум по нанотехнологиям Rusnanotech и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трубочкина Н.К. Переходная 3D-наносхемотехника – новая концепция и новое качество в создании трехмерных интегральных схем // Журнал «Качество. Инновации. Образование». 2009. № 5.
2. Трубочкина Н.К. Смешанное моделирование ступенчатого биполярного транзистора с минимальным топологическим размером 20 нм и толщиной базы 3 нм // Журнал «Качество. Инновации. Образование». 2009. № 11.
3. Петров В.С., Логинов Б.А., Логинов П.Б. Новый способ формирования наноструктур на подложке с использованием туннельного микроскопа с активным зондом из монокристалла оксидной ванадиевой бронзы натрия // Физика и химия обработки материалов 2007. № 6. С. 73–78.
4. Пономарёв А.Н., Никитин В.А., Рыбалко В.В. Исследования многослойных полиэдральных наночастиц фуллереноидного типа – астраленов // Поверхность. 2006. № 5. С. 44–47.
5. Бродниченко А.Н., Пономарёв А.Н., Прония В.П., Рыбалко В.В. Магнитные свойства многослойных углеродных нанотрубок и астраленов в сильных электрических полях // Поверхность. 2007. № 2. С. 1–4.
6. Baranov A.M., Kondrashov P.E., Smirnov I.S. In situ x-ray reflectivity for thin-film deposition monitoring and control // Solid State Technology, 1999. № 5. P. 53–58.
7. Смирнов И.С., Новоселова Е.Г., Монахов И.С. Контроль параметров наноразмерных пленок в процессе их формирования методом рентгеновской рефлектометрии in-situ // Сб. докл. Междуна. форума по нанотехнологиям «Rusnanotech 08». 2008. Т. 2. С. 151–153.
8. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Лычагин А.А., Столяров А.А., Ульянов С.Е. Радиационная ионизация в структурах металл–диэлектрик–полупроводник в режиме сильнополевой инжекции электронов // Физика и химия обработки материалов, 2006. № 5. С. 19–23.
9. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Васютин Д.С., Михальков А.М. Исследование влияния режимов сильнополевой инжекции электронов на модификацию диэлектрических пленок МДП-приборов // Перспективные материалы. 2009. № 2. С. 19–24.



Nanobuild.ru

научный интернет-журнал

Электронное издание «НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: НАУЧНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ»:

- **включено** в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук;
- **публикует** материалы исследований ведущих ученых Российской академии наук, Российской инженерной академии, Российской академии архитектуры и строительных наук, руководителей и специалистов организаций и предприятий, преподавателей вузов, докторантов и аспирантов, сотрудников НИИ и научных центров из различных регионов России, стран ближнего и дальнего зарубежья;
- **зарегистрировано** в НТЦ «Информрегистр», включено в систему Российского индекса научного цитирования и внесено в международную систему данных по периодическим изданиям (МСДПИ) международного Центра ISSN.

Издание предоставляет возможность для обмена мнениями и получения самой передовой и достоверной информации о наноматериалах и нанотехнологиях.

Редакция предлагает подписаться на издание и приглашает ведущих ученых, руководителей и специалистов организаций и предприятий России и зарубежных партнеров к публикации материалов научно-практического и рекламного характера.

E-mail: info@nanobuild.ru
Факс: (498) 646-71-40 (автомат)

www.nanobuild.ru



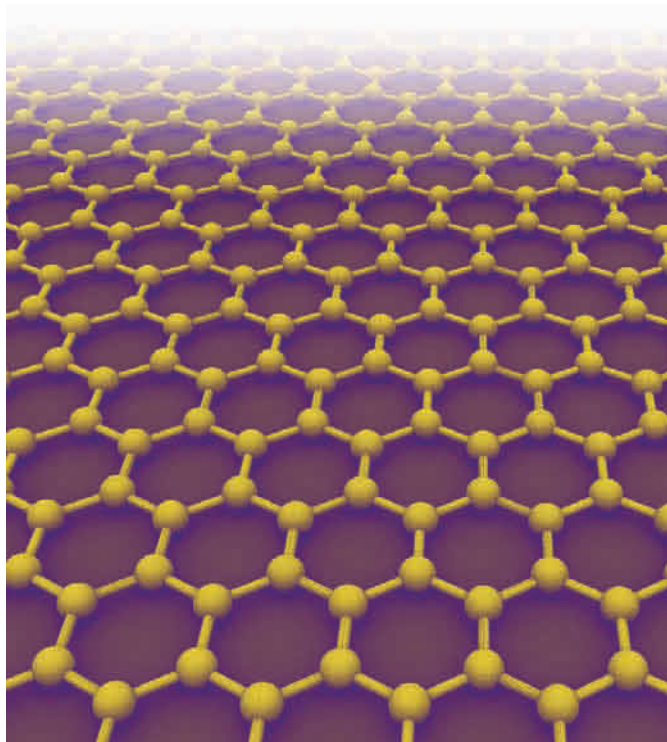
Графен — новый прорыв в области нанотехнологий

В.Ф. Разумов

Институт проблем химической физики РАН, 142432,

Черноголовка, просп. Акад. Семенова, 1

E-mail: razumov@icp.ac.ru



CORE-Materials

ВВЕДЕНИЕ

Настоящей сенсацией стало объявление Шведской академии наук 5 октября 2010 года о присуждении Нобелевской премии по физике Андрею Гейму и Константину Новосёлову — бывшим российским ученым, ранее работавшим в Институте проблем микроэлектроники и особо чистых материалов в Научном центре РАН в Черноголовке, а ныне сотрудникам Манчестерского университета. Премия была присуждена за передовые исследования двумерного материала графена.

Все в этот раз было необычно, не как всегда. Во-первых, возраст лауреатов по современным меркам был совсем не «нобелевским»: Андрею Гейму — 51 год, а Константину Новосёлову — 36 лет. Во-вторых, лауреатами стали сразу два русских ученых. И наконец, с момента первой приоритетной публикации авторов этого исследования пошло только лишь шесть лет [1]. Кроме того,

по углеродным наноструктурам не так давно уже были присуждены две Нобелевские премии — Гарольду Крото, Роберту Керлу и Ричарду Смолли в 1996 году за открытие фуллеренов, а Сумио Иидзума в 2008-м — за углеродные нанотрубки. Поэтому присуждение еще одной Нобелевской премии, по существу, в этой же области, т.е. за еще одну модификацию углерода, было тем более неожиданным. Почему же графен вызвал такое пристальное внимание исследователей и какими столь уникальными свойствами обладает эта модификация углерода? Число опубликованных работ по графену уже сейчас приближается к нескольким тысячам. Достаточно сказать, что пионерская работа Гейма, Новосёлова, Морозова и др. [1], в которой графен впервые был описан как реальный физический объект, ровно за шесть лет с момента ее опубликования была процитирована 3270 раз.

СТРУКТУРА И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ

Графен — это планарная 2D-структура макроскопического размера и атомарной толщины, составленная из атомов углерода, в которой атомы углерода располагаются в узлах двумерной гексагональной решетки так, что каждый атом связан с тремя соседними ковалентными химическими связями с sp^2 -гибридизацией, а четвертый валентный электрон включен в сопряженную π -систему графена. Таким образом, три связи, расположенные в плоскости, задают геометрическую структуру графена, а четвертая — его уникальные электронные свойства. С точки зрения химика графен — это конденсированная ароматическая макромолекула, а с точки зрения физика это структурная единица кристаллической решетки графита (рис. 1), которая представляет собой стопку графеновых плоскостей, отстоящих друг от друга на расстоянии 0.335 нм и связанных между собой ван-дер-ваальсовым взаимодействием. До недавнего времени графен рассматривался как гипотетическая структура, так как его получение в виде реального физического объекта или индивидуальной макромолекулы считалось невозможным.

Л.Д. Ландау и Р. Пайерлс [2–4] показали, что при неограниченном возрастании размеров двумерной кристаллической решетки флуктуационное смещение атома в любом ее узле обращается в бесконечность. Это означает, что двумерные «твердо-кристаллические» структуры не могут существовать. Однако в силу слабой логарифмической расходимости двумерные кристаллические пленки конечных размеров теоретически могут быть реализованы при достаточно низких температурах [5–6].

Однако на самом деле проблема состоит не в справедливости абстрактной теории о невозможности существования дальнего порядка в идеализированной истинно двумерной кристаллической решетке. Наличие упорядоченной графеновой структуры в графите было достоверно установлено методами рентгеноструктурного анализа, и она реально существует в трехмерной решетке графита благодаря взаимодействию с соседними графеновыми листами. Вопрос был в том, как можно выделить отдельный графеновый лист макроскопического размера, не допустив его скручивания или сминания. Считалось, что эту задачу решить нельзя. Было чрезвычайно удивительно, что группе исследователей из Манчестера и Черноголовки это удалось сделать прямым методом микромеханического расслоения графита. В самом простом варианте суть метода сводится к трению графитового стержня по гладкой поверхности кремния, покрытого пленкой SiO_2 толщиной порядка 300 нм [9]. Оказалось, что при этом на поверхности SiO_2 остаются чешуйки графена, отщепленного от гра-

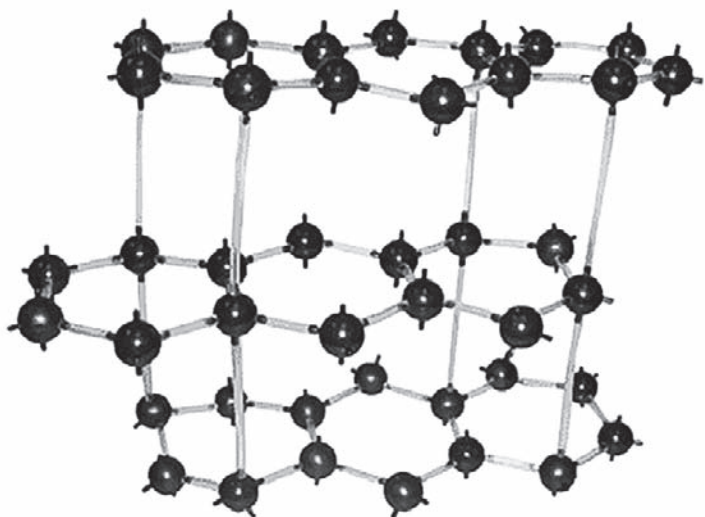


Рисунок 1. Кристаллическая решетка α -графита

фита, и, даже если они имеют толщину всего в несколько атомных слоев, их можно наблюдать в оптическом микроскопе благодаря изменению интерференционной картины при удачно подобранной толщине оксидной пленки. Кроме того, поверхность SiO_2 позволяла механически стабилизировать моноатомные слои графена. Толщина графеновых пленок, стабилизированных подложкой, измерялась с помощью AFM-микроскопии или по спектрам комбинационного рассеяния света [10, 11].

Как оказалось, микроскопическое расслоение графита удается сделать также с помощью обычной липкой ленты – скотча. Для этого тонкую пластинку графита помещают между двумя скотч-лентами и, последовательно разъединяя их, отщепляют раз за разом тонкие пленки графита, пока не будет получен достаточно тонкий слой. После этого скотч прижимают к подложке окисленного кремния. При этом на подложке среди многих пленок могут попадаться и однослойные, которые и представляют интерес [1].

Несмотря на свою простоту, метод микроскопического расслоения графита позволяет получать образцы графена очень высокого качества, что дало возможность экспериментально продемонстрировать его уникальные свойства. Так, например, при механическом воздействии на высокоориентированный пиролитический графит можно получить пленки графена размером вплоть до ~ 100 мкм. Однако этот метод является очень трудоемким и малопродуктивным. Он годится только лишь для проведения фундаментальных исследований. Поэтому усилия исследователей сейчас направлены на поиск наиболее технологически эффективных методов.

Графен из графита можно получать, используя различные химические методы [12]. Один из них состоит в том, что микрокристаллы графита обрабатывают смесью серной и соляной кислот, при этом графит окисляется – и на краях образца появляются карбоксильные группы графена. Их превращают в хлориды при помощи тионилхлорида. Затем под действием октадециламина в растворах тетрагидрофурана, тетрахлорметана и дихлорэтана они переходят в графеновые слои толщиной 0.54 нм. Различные модификации этого метода, в которых применяют другие органические растворители, позволяют получить нанометровые слои графена [13–15].

В работах [16–17] описан химический метод получения графена, встроенного в полимерную матрицу. Существуют и другие методики для получения графена, такие как преобразование графита в оксид графита. В них используется подход, называемый «окисление–расслоение–восстановление», в ходе которого базисные плоскости графита покрываются ковалентно-связанными функциональными группами кислорода. Этот окисленный графит становится гидрофильным и может легко расслаиваться на отдельные графеновые листы под действием ультразвука, находясь в водном растворе.

В работе [18] серную и азотную кислоты внедряли между слоями графита и затем быстро нагревали образец до 1000°C . Взрывное испарение молекул-интеркалянтов производит тонкие, толщиной в несколько нанометров графитовые «хлопья», которые содержат множество графеновых слоев. После этого в пространство между графеновыми слоями химически внедряли два вещества – олеум и гидроокись тетрабутиламмония. Обработанный ультразвуком раствор содержал как графит, так и графеновые листы. После этого методом центрифугирования проводили отделение графена.

В работе [19] показана возможность получения высококачественного графена со значительным выходом в растворе путем использования подходящего органического растворителя при расслоении графита. Авторы предположили, что графен в органических растворителях поведет себя подобно углеродным нанотрубкам, стенки которых имеют большое сродство к N-метилпирролидону. Графитовая пудра в растворителе (были опробованы различные растворители, в том числе N-метилпирролидон (NMP), N,N-диметилацетамид, γ -бутиролактон, 1,3-диметил-2-имидазолинон (DMEU)) подвергалась ультразвуковой обработке; полученную суспензию центрифугировали для удаления крупных частиц и затем фильтровали. Как показал анализ, из исходных частиц графита размером > 150 мкм образовывались монослои графена, агрегаты слоев графена, а также присутствовали бислойные и многослойные структуры. Массовая доля монослоев графена составила 12 % по отношению к частицам в центрифугированной дисперсии и 1 % по отношению к исходной массе графита, а размер графеновых частиц – несколько микрон.

Следует упомянуть еще два метода: радиочастотное плазмохимическое осаждение из газовой фазы [20] и рост при высоком давлении и температуре [21]. Из этих методов только последний можно использовать для получения пленок большой площади.

Работы [22–23] посвящены получению графена, выращенного на подложках карбида кремния SiC. Графитовая пленка формируется при термическом разложении поверхности подложки SiC (этот метод получения графена гораздо ближе к промышленному производству), причем качество выращенной пленки зависит от характера стабилизации поверхности кристалла: C-стабилизированная или Si-стабилизированная поверхность. В первом случае, C-стабилизированной поверхности, качество пленок выше. В работах [24–25] та же группа исследователей показала: несмотря на то что толщина слоя графита составляет больше одного монослоя, в проводимости участвует только один слой, находящийся в непосредственной близости от подложки, поскольку на границе SiC-C из-за разности работ выхода двух материалов образуется некомпенсированный заряд. Свойства такой пленки оказались эквивалентны свойствам графена. Недавно появились публикации, в которых графен выращивали на металлических подложках рутения [26] и иридия [27].

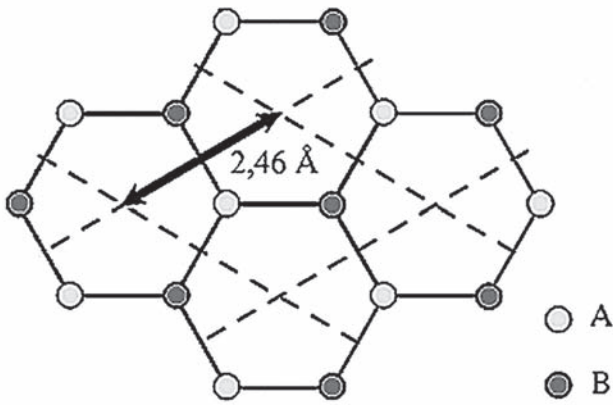


Рисунок 2. Гексагональная кристаллическая решетка графена

ЗОННАЯ СТРУКТУРА

Теоретическое исследование зонной структуры графена впервые было опубликовано в работе [28], в которой графен рассматривался как базовая структура для построения зонной теории кристалла графита, поскольку из графена можно собрать трехмерный кристалл графита. Гексагональная решетка графена представляется в виде двух взаимопроникающих решеток Бравэ (рис. 2), и волновая функция валентного р-электрона в периодическом поле кристаллической решетки представляется в виде линейной комбинации двух блоховских функций, построенных на подрешетках А и В:

$$\psi(r) = \varphi_A(r)e^{2\pi ikr_A} + \varphi_B(r)e^{2\pi ikr_B}, \quad (1)$$

где r_A и r_B – радиус-векторы узлов соответствующих кристаллических подрешеток, а $\varphi_A(r)$ и $\varphi_B(r)$ – волновые функции электронов, локализованных вблизи этих узлов.

Подставляя волновую функцию (1) в уравнение Шредингера

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m_e} + U(r) \right] \psi(\sigma) = E\psi(\sigma), \quad (2)$$

где $U(r)$ – периодический потенциал кристаллической решетки, после соответствующих выкладок в простом приближении сильно связанных электронов, считая, что интеграл перекрытия γ_0 быстро спадает на межатомных расстояниях и поэтому учитывается перекрытие волновой функции центрального атома только с волновыми функциями трех ближайших соседних атомов, приходим к следующему выражению для энергетического спектра электронов и дырок в графене:

$$E = \pm \sqrt{\gamma_0^2 \left[1 + 4 \cos^2(\pi k_y a) + 4 \cos(\pi k_y a) \cos(\pi k_x \sqrt{3}a) \right]}, \quad (3)$$

где знак «плюс» соответствует электронам, а знак «минус» – дыркам. Таким образом, зонная структура графена такова, что отсутствует запрещенная зона, причем зона с положительным значением энергии, соответствующая электронным состояниям, и зона с отрицательной энергией, соответствующая дырочным состояниям, касаются в шести точках, называемых дираковскими точками, поскольку вблизи них энергетический спектр приобретает линейную зависимость от волнового вектора (рис. 3). Координаты этих точек равны

$$\left(0, \frac{4\pi}{3d} \right), \left(0, -\frac{4\pi}{3d} \right), \left(\frac{2\pi}{\sqrt{3}d}, \frac{2\pi}{3d} \right), \left(\frac{2\pi}{\sqrt{3}d}, -\frac{2\pi}{3d} \right), \left(-\frac{2\pi}{\sqrt{3}d}, \frac{2\pi}{3d} \right), \left(-\frac{2\pi}{\sqrt{3}d}, -\frac{2\pi}{3d} \right). \quad (4)$$

Две независимые долины можно выбрать так, что вершины валентных зон будут находиться в дираковских точках с координатами:

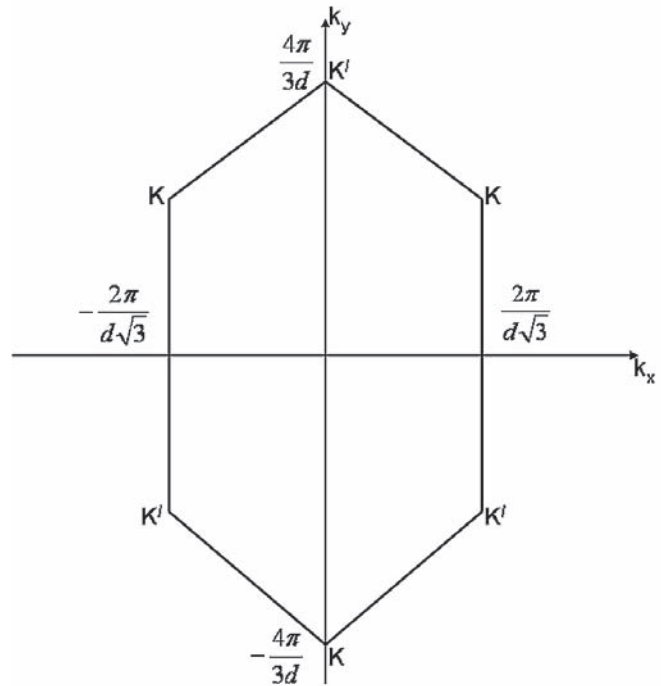


Рисунок 3. Первая зона Бриллюэна обратной решетки графена. К и К' – дираковские точки

$$K^\pm = \left(0, \pm \frac{2\pi}{\sqrt{3}d} \right). \quad (5)$$

Итак, в точках соприкосновения валентной зоны и зоны проводимости энергетический спектр электронов и дырок имеет вид:

$$E = \hbar v_F k, \quad (6)$$

где v_F – скорость Ферми, k – модуль волнового вектора в двумерном пространстве с компонентами (k_x, k_y) , \hbar – постоянная Планка. Спектром такого рода обладают элементарные частицы с нулевой массой покоя и распространяющиеся со скоростью света (например, фотон). Отсюда следует, что эффективная масса электрона и дырки в графене равна нулю, при этом скорость Ферми v_F играет роль «эффективной» скорости света. Измеренное экспериментальное значение скорости Ферми составляет $v_F = 10^6$ м/с [29], т.е. в 300 раз меньше, чем скорость света в вакууме. Однако электроны и дырки являются фермионами, имеющими электрический заряд, поэтому в графене реализуется уникальная по своей физической природе ситуация. В настоящее время аналогов для таких безмассовых заряженных фермионов ни в каких физических системах нет.

В соответствии с этим уравнение (2) для электронов и дырок в графене можно представить в форме уравнения Дирака, но с нулевой массой частиц и античастиц. Кроме того, так как графен – двухдолинный полуметалл, то уравнение Дирака должно быть модифицировано с учетом электронов и дырок из разных долин (К, К'). В итоге мы получим восемь дифференциальных уравнений первого порядка, которые включают такие характеристики носителей, как принадлежность к определенной подрешетке (А, В) кристалла, нахождение в определенной долине (К, К'). Однако матрицы Паули здесь не имеют отношения к спину электрона, а отражают вклад двух подрешеток в формирование двухкомпонентной волновой функции частицы. Решения этих уравнений описывают частицы с положительной энергией (электроны) и античастицы с отрицательной энергией (дырки), при этом обычный спин

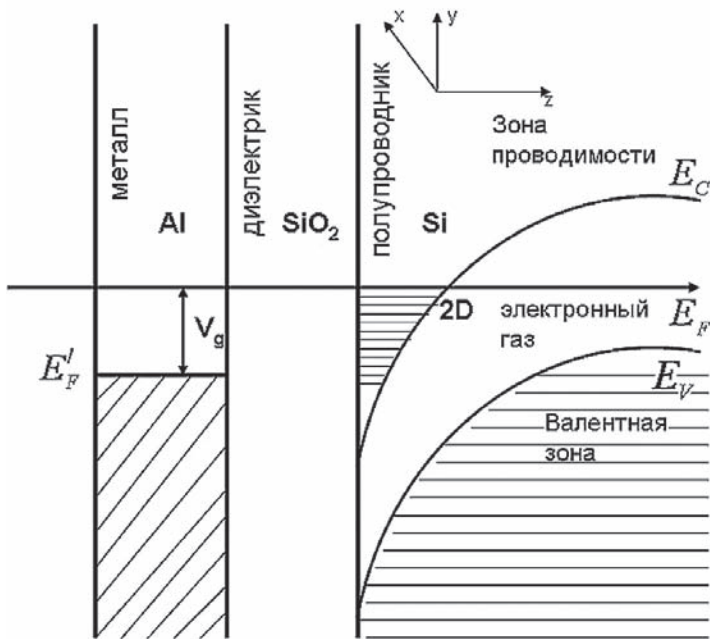


Рисунок 4. Диаграмма энергетических зон в МОП-структуре, E_F и E_F' – уровни Ферми в кремнии и алюминии, соответственно

электрона в отсутствие магнитного поля не принимают во внимание. Таким образом, гамильтониан уравнения Дирака представляется в виде:

$$H_0 = -i\hbar v_F \begin{pmatrix} \sigma \nabla & 0 \\ 0 & \sigma^* \nabla \end{pmatrix} = -i\hbar v_F \begin{pmatrix} 0 & \nabla_x - i\nabla_y & 0 & 0 \\ \nabla_x + i\nabla_y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \nabla_x + i\nabla_y \\ 0 & 0 & \nabla_x - i\nabla_y & 0 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где $\sigma = (\sigma_x, \sigma_y)$ – вектор-строка, состоящая из матриц Паули.

Хорошо известно, что поведение электронов и дырок в обычных полупроводниках описывается отдельными независимыми уравнениями Шредингера. В графене же реализуется уникальная ситуация, состоящая в том, что электроны и дырки оказываются взаимосвязанными благодаря свойству зарядово-сопряженной симметрии. Именно поэтому удастся ввести двухкомпонентную волновую функцию на основе двух подрешеток и представить уравнение (2) в форме уравнения Дирака, в котором гамильтониан полностью эквивалентен гамильтониану для нейтрино, и, как и для нейтрино, здесь существует сохраняющаяся величина проекции спина (в данном случае псевдospина для электронов и дырок в графене) на направление движения – величина, называемая киральностью. При этом электроны характеризуются положительным значением киральности, а для дырки – отрицательным. Сохранение киральности в графене приводит к такому явлению, как парадокс Клейна. Суть его состоит в том, что для релятивистской частицы становится прозрачным потенциальный барьер, высота которого больше, чем удвоенная энергия массы покоя частицы. Для электронов и дырок в графене парадокс Клейна сводится к тому, что они преодолевают с вероятностью, равной единице, любые потенциальные барьеры при нормальном падении на границу раздела. Если падение происходит под углом, то существует некоторая вероятность отражения. Например, обычный p-n-переход в графене является таким преодолемым барьером [30]. В целом парадокс Клейна приводит к тому, что частицы в графене трудно локализовать, что, в свою очередь, приводит, например, к высокой подвижности носителей в

графене. Недавно были предложены несколько моделей, позволяющих локализовать электроны в графене [31–32]. В работе [33] впервые продемонстрирована квантовая точка из графена и измерена кулоновская блокада при 0.3 К.

ЭФФЕКТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Большой интерес вызывает исследование проводимости графена. Так как графен является полуметаллом с нулевой шириной запрещенной зоны, то под действием электрического поля можно изменять концентрацию носителей зарядов. Экспериментально это делается следующим образом. Графеновый листок находится на кремниевой подложке, покрытой диэлектрическим слоем из SiO_2 . Достаточно сильно легированный кремний можно использовать в качестве обратного затвора. При приложении к нему положительного напряжения в графене увеличивается концентрация свободных электронов, а при отрицательном – дырок. Концентрация носителей тока может достигать величины 10^{13} см^{-2} . Во всем диапазоне этих концентраций сохраняется высокая подвижность электронов и дырок вплоть до $2 \times 10^4 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$, которая практически не зависит от температуры [1]. В эксперименте ее значение ограничено только лишь наличием примесей, и считают, что предельная величина подвижности должна быть по крайней мере на порядок больше и лимитируется фоновым рассеянием [34]. В экспериментах баллистический транспорт зарядов реализуется при комнатной температуре на субмикронных расстояниях. Другой уникальной особенностью графена является то, что при стремлении к нулю концентрации носителей проводимость имеет конечное значение, равное по величине кванту проводимости [35]. Это явление было предсказано теоретически [36–42].

КВАНТОВЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА

Квантовый эффект Холла относится к одному из наиболее ярких макроскопических проявлений квантовых свойств вещества, наблюдаемых в низкоразмерных твердотельных структурах. За его открытие в 1985 году была присуждена Нобелевская премия по физике Клаусу фон Клитцингу [43]. В слоистой МОП-структуре (металл–окисел–полупроводник) в приповерхностной области полупроводника создается двумерный электронный газ путем приложения разности потенциалов между металлическим затвором и полупроводником. Из-за пространственного ограничения движения электронов по оси Z (рис. 4) энергия электронного газа квантуется, т.е.

$$E = E_n + \frac{P_x^2 + P_y^2}{2m}, \quad (8)$$

при этом можно сказать, что каждому дискретному уровню E_n соответствует своя двумерная подзона. При наложении достаточно сильного внешнего магнитного поля с величиной индукции B электроны под действием силы Лоренца совершают круговое вращение с радиусом $r = \sqrt{\pi e B}$ и циклотронной частотой $\omega_c = eB/m$. Энергия такого периодического движения также квантуется, и теперь вместо формулы (8) следует записать:

$$E_{nN} = E_n + E_N = E_n + \hbar \omega_c \left(N + \frac{1}{2} \right), \quad (9)$$

где квантовые энергетические уровни циклотронного вращения E_N называются уровнями Ландау. Циклотронное движение каждого из электронов двумерного газа ограничено площадью $S = h/eB$, и поэтому максимальная плотность состояний на каждом уровне Ландау равна

$$\rho_B = \frac{eB}{h}. \quad (10)$$

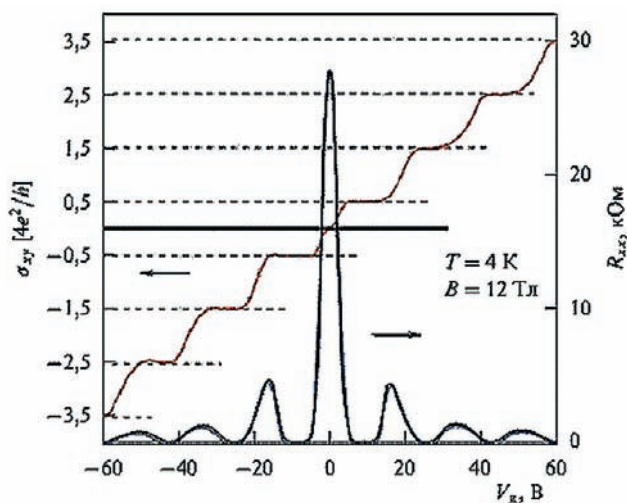


Рисунок 5. Продольное магнитосопротивление и холловская проводимость в графене в зависимости от напряжения на затворе [35]

Заполнение уровней Ландау идет в соответствии с принципом Паули, и поэтому, если уровень Ферми попадает в промежуток между уровнями Ландау, холловский ток будет отсутствовать. Таким образом, на зависимости холловской проводимости от приложенного напряжения V_g будут наблюдаться ступеньки, расстояние между которыми равно e^2/h , т.е.

$$\sigma_N = \frac{e^2}{h} N, \quad N = 1, 2, \dots \quad (11)$$

Графен является идеальной двумерной системой для наблюдения квантового эффекта Холла, и поэтому сразу после получения графена были начаты эти исследования [29, 35, 44]. Оказалось, что в монослойном графене последовательность плат холловской проводимости определяется формулой (рис. 5):

$$\sigma_N = \frac{4e^2}{h} \left(N + \frac{1}{2} \right), \quad N = 1, 2, \dots \quad (12)$$

Таким образом, квантовый эффект Холла в графене существенно отличается от эффекта в МОП-структуре. Множитель 4 связан с двукратным спиновым и долинным вырождением, а вот «полуцелый» сдвиг объясняется спецификой квантования дираковских фермионов в графене. Оказывается, что в графене есть нулевой уровень Ландау, принадлежащий одновременно и электронам, и дыркам.

Другая важная особенность квантового эффекта Холла в графене состоит в том, что благодаря линейному характеру дисперсии и большой величине скорости Ферми расстояние между уровнями Ландау настолько большое, что позволяет наблюдать квантовый эффект Холла при комнатной температуре.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ГРАФЕНА

Графен, несомненно, перспективный материал для нанoeлектроники. В частности, графен рассматривается в качестве одного из материалов, способных заменить кремний в микросхемах. В конце 2008 года компания IBM сообщила о создании транзистора на основе графена, который работает с частотой 26 гигагерц [45]. Конечно, характеристики графенового транзистора пока не являются рекордными, так как, например, частота транзисторов на основе фосфида индия составляет 1000 гигагерц. Быстрее графеновых транзисторов пока работают и транзисторы на основе кремния. Однако IBM подчеркивает, что для достижения

нынешней скорости работы кремниевому транзистору потребовалось сорок лет.

Моноатомный лист графена имеет нулевое значение ширины запрещенной зоны, и поэтому рабочая температура графеновых полевых транзисторов должна быть значительно ниже комнатной. В работе [46] сообщается о методе синтеза новых углеродных наноструктур — графеновых наносеток, которые представляют собой моно- или бислой графена, в которых вырезаны дырки диаметром 10 нм, образующие регулярную сетку с периодом 30 нм. Такие графеновые сетки являются полупроводниками с достаточно большой запрещенной зоной. Их получают, покрывая графеновый лист блоксополимером, маскируют его соответствующим образом и затем подвергают травлению. Параметры сетки можно варьировать, подбирая соответствующий блоксополимер и изменяя условия синтеза. Это позволяет изменять электронные свойства наносеток. Уменьшение периода сетки приводит к росту ширины запрещенной зоны. Сравнительная простота изготовления графеновых наносеток обуславливает перспективу их практического применения в интегральных цепях, биодатчиках, устройствах спинтроники.

Хорошо известно, что графит является химически инертным материалом, а вот графен, как оказалось, можно достаточно легко химически модифицировать. В работе [47] описан процесс гидрирования графена. Метод сводится к пропусканию электрического тока через графен, находящийся в среде газообразного водорода. При этом атомы водорода присоединяются поочередно — один сверху «листа», другой снизу, — немного деформируя плоскую структуру исходного графена. Этот новый материал получил название графан. Графан представляет собой диэлектрик, и он может быть использован при производстве сверхминиатюрных транзисторов, поскольку позволяет решить одну из главных проблем графеновой электроники — создание проводящих контуров. Добавление атомов водорода к графену позволит получать на нем локальные области графана. Подобным образом можно, например, разделить лист исходного материала на множество проводящих полос. Ранее в качестве одного из вариантов решения проблемы получения проводящих контуров предлагалось использовать метод нанолитографии. Кроме этого, новый материал может найти применение и в водородной энергетике. Как оказалось, нагрев графана приводит к высвобождению атомарного водорода. Известно, что одной из основных проблем водородной энергетике является создание эффективных способов хранения водорода. Графан можно рассматривать как аккумулятор водорода.

Также удалось получить и оксид графена, который обладает неоднородной структурой: окислившиеся области графена случайным образом чередуются с «чистыми» участками, не вступавшими в реакцию с кислородом. Как уже было сказано выше, гидрид графена, графан, хоть и обладает однородной структурой, при нагреве выше комнатной температуры он становится нестабильным веществом, быстро теряя атомы водорода. Недавно была получена новая стабильная химическая модификация графена. В статье [48] сообщают о синтезе флюорографена — нового и, что самое важное, устойчивого соединения фтора и графена с широкой запрещенной зоной.

Примеры соединений углерода с фтором хорошо известны. Одним из них является политетрафторэтилен, или тефлон, который применяется в качестве защитного покрытия. Продукт реакции фтора и углерода — фторид

графита — используется как материал для катодов в литиевых батареях и как лубрикант (смазочный материал).

Процедура получения флюорографена состоит в следующем. Лист графена размером более 100 мкм на подложке из оксида кремния накрывался тонкой пленкой полиметилметакрилата толщиной 100 нм. После этого основание из оксида кремния вытравливалось, и накрытый графен переносился на другую подложку — очень мелкую золотую сетку с периодом 7 мкм. Затем пленку полиметилметакрилата растворяли с помощью ацетона, и графен на золотой подложке перемещался в тефлоновый контейнер, заполненный дифторидом ксенона XeF_2 — мощным фторирующим соединением. Контейнер нагревали до 70 °С и удерживали температуру неизменной в течение 30 часов.

Оказалось, что флюорографен представляет собой двумерную структуру с практически такой же гексагональной кристаллической решеткой, что и графен, обладает прекрасной термической устойчивостью вплоть до 400 °С. Более того, при обычных условиях флюорографен оказался еще и химически стабильным в таких жидкостях, как вода, ацетон, пропанол и т.д. Фактически флюорографен имеет химическую стабильность, схожую с тефлоном и фторидом графита. Что касается электронных свойств новой химической модификации графена, то флюорографен является полупроводником с большой шириной запрещенной зоны около 3 эВ и имеет высокое удельное сопротивление, которое при комнатной температуре составляет величину порядка 10^{12} Ом·м. Используя атомно-силовую микроскопию, удалось получить сведения и о механических свойствах флюорографена. Оказалось, что модуль Юнга флюорографена составляет 0.3 ТПа, и это означает, что механическая прочность у флюорографена в 1.5 раза больше, чем у стали, и всего лишь в три раза уступает аналогичной характеристике для графена. Таким образом, фторирование монослоя углерода приводит к появлению нового, тоже двумерного материала. Флюорографен является полупроводником с широкой запрещенной зоной, имеет хорошую структурную, температурную и химическую устойчивость и не менее прочен, чем сам графен. Обладая такими свойства-

ми, флюорографен может найти применение не только в графеновой микроэлектронике в качестве изолирующих «островков» в полевых транзисторах, но и, например, может рассматриваться как альтернатива тефлону в различных защитных покрытиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За прошедшие шесть лет с момента первой публикации открыто много новых физических явлений и закономерностей, которые не наблюдаются ни для каких других веществ [49]. Их перечень далеко не исчерпывается теми, которые были рассмотрены в данном кратком обзоре. Несомненно одно: открытие графена как нового физического нанобъекта уже за столь короткий срок внесло значительный вклад в фундаментальную науку, который трудно переоценить. Сейчас даже трудно сказать, какие из обнаруженных фундаментальных явлений найдут практическое применение.

Однако для широкого внедрения графена необходимо создание дешевой технологии его производства. Чрезвычайно обнадеживающей и даже в какой-то мере сенсационной кажется на первый взгляд только что появившаяся публикация [50] большой группы корейских и японских исследователей, в которой сообщается о разработке технологии получения графена на медной подложке методом CVD с последующим переносом графенового слоя на гибкую подложку методом «roll-to-roll». Как утверждают авторы, качество получающегося графенового слоя приближается к лучшим образцам, полученным методом микромеханического расщепления. Характерный размер графеновой пленки — около 70 см, а оптическое пропускание составляет 97.4 %. На такой пленке уверенно наблюдается эффект Холла. В этой работе даже описана и приводится фотография лабораторного образца компьютерного экрана, созданного с использованием данной технологии.

Таким образом, подводя итог этого краткого обзора, можно сказать, что открытие графена и последовавший за этим бум научных публикаций и разработок можно рассматривать как новый, чрезвычайно обнадеживающий прорыв в области современных нанотехнологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Novoselov K.S. et al. // *Science*. 2004. V. 306. № 5696. P. 666.
- Peierls R.E. // *Ann. Inst. Henri Poincaré*. 1935. V. 5. P. 177.
- Landau L.D. // *Phys. Z. Sowjetunion*. 1937. V. 11. P. 26.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Статистическая физика, часть 1*. М.: Наука. 1995. С. 483.
- Березинский В.Л. Низкотемпературные свойства двумерных систем с непрерывной группой симметрии. М.: Физматлит, 2007.
- Kosterlitz J.M., Thouless D.J. // *J. Phys. C: Solid State Phys.* 1973. V. 6. P. 1181.
- Nelson D.R., Kosterlitz J.M. // *J. Phys. Rev. Lett.* 1977. V. 39. P. 1201.
- Nelson D.R., Halperin B.I. // *Phys. Rev. B*. 1979. V. 19. P. 2457.
- Novoselov K.S. et al. // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2005. V. 102. P. 10451.
- Ferrari A.C. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 2006. V. 97. P. 187401.
- Gupta A. et al. // *Nano Lett.* 2006. V. 6. P. 2667.
- Niyogi S., Bekyarova E., Itkis M.E. et al. // *J. Am. Chem. Soc.* 2006. V. 128. № 24. P. 7720.
- Bunch J.S. et al. // *Nano Lett.* 2005. V. 5. P. 287.
- Li X. et al. // *Nature Nanotechnology*. 2008. V. 3. P. 538.
- Hernandez Y. et al. // *Nature Nanotechnology*. 2008. V. 3. P. 563.
- Stankovich S. et al. // *J. Mater. Chem.* 2006. V. 16. P. 155.
- Stankovich S. et al. // *Nature*. 2006. V. 442. P. 282.
- Li X., Zhang G., Bai X. et al. // *Nature Nanotechnology*. 2008. V. 3. P. 538.
- Hernandez Y., Nicolosi V., Lolya M. et al. // *Nature Nanotechnology*. 2008. V. 3. P. 563.
- Wang J.J. et al. // *Appl. Phys. Lett.* 2004. V. 85. P. 1265.
- Parvizi F. et al. // *Nano Lett.* 2008. V. 3. P. 29.
- Rollings E. et al. // *J. Phys. Chem. Solids*. 2006. V. 67. P. 2172.
- Hass J. et al. // *Appl. Phys. Lett.* 2006. V. 89. P. 143106.
- Berger C. et al. // *Science*. 2006. V. 312. P. 1191.
- Hass J. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 2008. V. 100. P. 125504.
- Sutter P.W. et al. // *Nature Mat.* 2008. V. 7. P. 406.
- N'Diaye A.T. et al. // *New J. Phys.* 2008. V. 10. P. 043033.
- Wallace P.R. // *Phys. Rev.* 1947. V. 71. P. 622.
- Novoselov K.S. et al. // *Nature*. 2005. V. 438. P. 197.
- Cheianov V.V., Fal'ko V.I. // *Phys. Rev. B*. 2006. V. 74. P. 041403.
- Trauzettel B. et al. // *Nat. Phys.* 2007. V. 3. P. 192.
- Silvestrov P.G., Efetov K.B. // *Phys. Rev. Lett.* 2007. V. 9. P. 016802.
- Geim A.K., Novoselov K.S. // *Nat. Mat.* 2007. V. 6. P. 183.
- Morozov S.V. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 2008. V. 100. P. 016602.
- Морозов С.В., Новоселов К.С., Гейм А.К. // *УФН*. 2008. Т. 178. № 7. С. 776.
- Katsnelson M.I. // *Eur. Phys. J. B*. 2006. V. 51. P. 157.
- Tworzydło J. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 2006. V. 96. P. 246802.
- Fradkin E. // *Phys. Rev. B*. 1986. V. 33. P. 3263.
- Lee P.A. // *Phys. Rev. Lett.* 1993. V. 71. P. 1887.
- Ludwig A.W.W. et al. // *Phys. Rev. B*. 1994. V. 50. P. 7526.
- Ziegler K. // *Phys. Rev. Lett.* 1998. V. 80. P. 3113.
- Nomura K., MacDonald A.H. // *Phys. Rev. Lett.* 2006. V. 96. P. 256602.
- Клитцинг К. Квантовый эффект Холла: Нобелевская лекция // *УФН*. 1986. Т. 150. № 1. С. 107.
- Zhang Y. et al. // *Nature*. 2005. V. 438. P. 201.
- Lin Y.M., Jenkins K.A., Garcia A.V. et al. Operation of Graphene Transistors at GHz Frequencies // *Nano Letters*. 2009. V. 9. № 1. P. 422.
- Bai J. et al. // *Nature Nanotech.* 2010. T. 5. P. 190.
- Elias D.C., Nair R.R., Mohiuddin T.M.G. et al. Control of Graphene's Properties by Reversible Hydrogenation: Evidence for Graphane // *Science*. 2009. V. 323. № 5914. P. 610.
- Nair R.R., Ren W.C., Jalil R. et al. Fluorographene: mechanically strong and thermally stable two-dimensional wide-gap semiconductor // 2010. arXiv:1006.3016.
- Лозовик Ю.Е., Меркулов С.П., Соколик А.А. // *УФН*. 2008. Т. 178. № 7. С. 757.
- Bae S., Kim H., Lee Y. et al. Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes // *Nature Nanotechnology*. 2010. V. 5. P. 574.

Конференция по наноструктурным материалам NANO–2010

Р.А. Андриевский

*Институт проблем химической физики РАН,
142432, г. Черноголовка, просп. Акад. Н.Н. Семенова, 1
E-mail: ara@icp.ac.ru*



Италия, Римский университет Сапиенца,
где проходила конференция NANO-2010

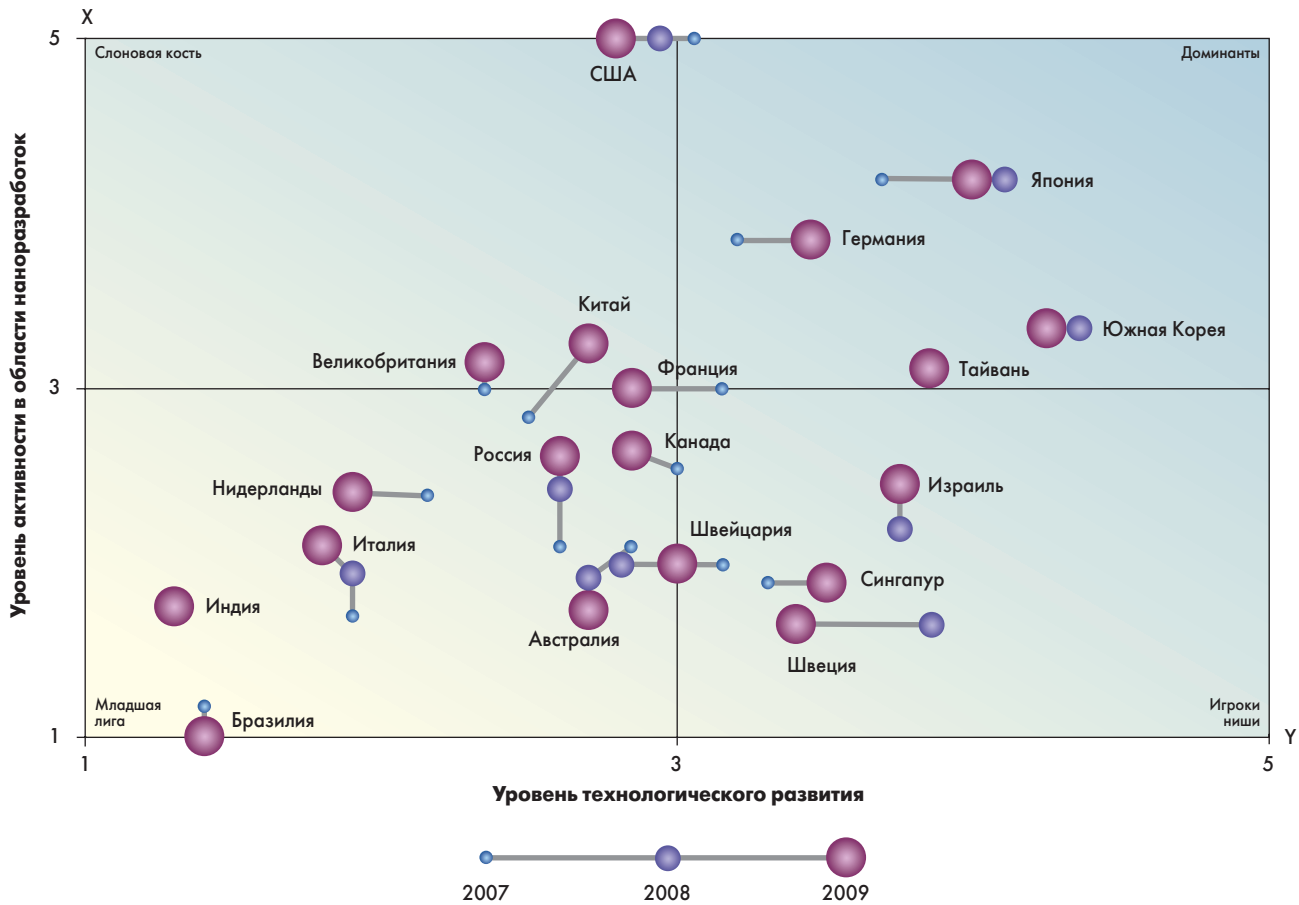
Среди многочисленных конференций, симпозиумов и семинаров по нанопроблематике, которые сейчас проводятся во всем мире едва ли не ежедневно, международные конференции по наноматериалам с эмблемой NANO – одни из старейших специализированных научных форумов в этой области. Они регулярно, начиная с 1992 г., проводятся один раз в два года. Очеред-

ная конференция NANO–2010 прошла в Италии (Рим, 13–17 сентября 2010 года) в Римском университете Ла Сапиенца. Этой конференции предшествовали девять предыдущих: Мексика (Канкун, 1992); ФРГ (Штутгарт, 1994); США (Гавайи, 1996); Швеция (Стокгольм, 1998); Япония (Сендай, 2000); США (Орландо, 2002); ФРГ (Висбаден, 2004); Индия (Бангалор,

2006), Бразилия (Рио-де-Жанейро, 2008). NANO–2012 решено проводить в Греции на острове Родос.

Конференции собирают широкий круг исследователей и разработчиков в области нанопроблематики, которая сейчас становится едва ли не главенствующей на широком научно-техническом поле. Общеизвестны весомые преимущества реализации достижений

Рейтинг стран в области развития нанотехнологии



нанотехнологии практически во всех областях человеческой деятельности — традиционная и новая техника, энергетика, электроника, информационные технологии, медицина, сельское хозяйство, оборона, транспорт и охрана окружающей среды. С другой стороны, переход к наноинтервалу обнаружил и многие чисто научные физические, химические, материаловедческие, биологические, медицинские и др. проблемы, связанные, например, с выявлением роли размерных эффектов и границ раздела, особенностями деформации наноструктур, токсикологией, катализом и т.д. Все это, наряду с запросами обороны и космоса, определяет высокие темпы развития нанотехнологии, что проявляется как в существенно возрастающих ассигнованиях, так и в значительном росте информационного потока. Сейчас в мире издается около 100 специализированных наножурналов. Наностатьи печатаются и в значительном количестве классических естественнонаучных журналов — в общей сложности ежедневно появляется более 150 публикаций, охватывающих все аспекты нанопроблематики. Одно из ведущих научных издательств Springer ежегодно выпускает более 30 моногра-

фий и сборников по нанотехнологии и наноматериалам.

Естественно, что этот широкий спектр исследований, разработок и публикаций отражается также в тематике наноконференций — в Риме одновременно работало шесть секций, которые рассматривали следующие основные вопросы (в скобках указано количество сообщений): наночастицы (114), нанокompозиты (94), нанополупроводники (65), наноматериалы для энергетики (64), наномангнетизм (64), химический контроль наноструктуры (45), нанoeлектроника (44), углеродные нанотрубки (36), нанобиотехнология (34), 2D-самосборка (32), моделирование (32), механические свойства (30), наномедицина, катализ и др. (всего 27 направлений). Как видно, спектр представленных докладов был довольно широким и не исчерпывался только собственно наноматериалами, а охватывал в разной степени многие аспекты нанотехнологии. Понятно, что точная классификация проблематики часто затруднительна в связи с мультидисциплинарностью нанотехнологии, но стоит отметить, что таким важным вопросам, как нанотоксикология и нанометрология, было посвящено всего по семь докладов.

На конференции было заслушано 10 пленарных и 73 приглашенных докладов, 253 устных и 534 постерных сообщений. С полной программой конференции можно ознакомиться на сайте [1]. Следует отметить, что отсутствие некоторых ведущих ученых из США, Японии, Китая и других стран несколько обеднило палитру пленарных и приглашенных докладов.

Содержательный анализ доложенных на конференции результатов требует отдельного подробного изложения. Доклады будут опубликованы в специальном выпуске журнала Journal of Nanoparticle Research. Я бы хотел выделить лишь несколько интересных, с моей точки зрения, сообщений.

В пленарном докладе Н.Л. Tuller из Массачусетского технологического института (США) «Наноструктурные материалы для топливных элементов и сенсоров нового поколения» всесторонне анализировались возможности поверхностей раздела в гибком регулировании параметрами явлений переноса в нанокерамических объектах.

J. Weissmüller из Института физики материалов (Гамбургский университет, ФРГ) подробно осветил особенности физико-механических свойств нанопо-

ристых материалов, получаемых методом коррозионного вытравливания одного из компонентов из сплавов типа Au-Cu и Au-Ag. В одном кубическом миллиметре золота после анодного растворения меди или серебра может содержаться до 1015 соединений диаметром около 5 нм. Материалы этого типа рассматриваются в качестве эффективных актуаторов — приводов в сенсорных устройствах, — а также в катализе. О возможности получения алюминиевых сплавов с высокой прочностью (около 1 ГПа) и приемлемым относительным удлинением (~5 %) рассказал Р.З. Валиев из Института физики перспективных материалов (Уфа, Россия). Эти характеристики достигаются за счет использования методов интенсивной пластической деформации и создания особой наноструктурной иерархии, включающей высокую плотность дислокаций, нанометровые зерна и сегрегации на их границах, а также в тройных стыках. В докладе Th. Tsakalakos (Университет Ратгерса, Пискатавей, США) описана интересная методика исследования механического поведения оксидных покрытий в процессе изгиба посредством рентгенофазового анализа с помощью синхротронного излучения с энергией до 200 кэВ.

В конференции участвовало около 750 человек (из них около 140 студентов и аспирантов), представлявших 43 страны мира. Предыдущие конференции в Бразилии (2008 г.) и Индии (2006 г.) собирали по 330 и 704 участников соответственно, но рекордное количество ученых (1100) было в ФРГ в 2004 году. Наибольшее число заявок на доклады (из общего числа принятых 870 тезисов) было представлено Италией (205), на втором месте была Россия (73), на третьем — Иран (69), затем ФРГ (67), Индия (60), Бразилия (42) и т.д. США, Япония и Китай представили, соответственно, 30, 27 и семь докладов. Приведенные цифры примерно соответствовали и количеству участников из разных стран.

Конечно, из данных по представительству докладчиков из разных стран и распределению их сообщений по направлениям нельзя судить о развитии нанотехнологии в тех или иных странах и о «горячих точках» этого развития.

Но, тем не менее, очевиден прогресс нанотехнологических исследований и разработок в России и в ряде развивающихся зарубежных стран (Индия, Иран, Бразилия). Для полноты картины рейтинга можно привести результаты последнего обзора, охватывающего ситуацию в 19 странах мира, по данным известной аналитической фирмы Lux Research Inc [2]. На графике (см. 24) по оси Y показан уровень активности в области наноразработок (научно-технический потенциал); по оси X — уровень технологического развития — возможности коммерциализации. Эти уровни оценивались по многим параметрам (Y — государственное и частное финансирование, научные публикации и патенты, количество компаний и центров и др.; X — затраты на научно-технические разработки и выпуск высокотехнологичной продукции по отношению к ВВП страны, количество работающих исследователей, уровень «утечки мозгов» и инфраструктуры и т.д.).

Анализируемые 19 стран были разбиты на четыре группы: 1-я группа — доминирующие лидеры (доминанты — Япония, Южная Корея, ФРГ, Тайвань); 2-я группа — страны из «Башни из слоновой кости» («Слоновая кость» — высокая активность разработок, но скромная реализация достижений); 3-я группа — Игроки ниши (страны с высоким уровнем технологического развития и с небольшим сектором наноразработок); 4-я группа — Младшая лига.

На графике показано положение стран в 2007, 2008 и 2009 гг. 1, 3 и 5 — это цифры баллов, которыми оцениваются страны по осям X и Y. Сумма этих цифр определяет место страны в рейтинге.

По этим данным, Россия, совершив заметный рывок в течение 2007–2009 гг., все еще остается в младшей

лиге и находится на 12-м месте среди 19 анализируемых стран. По оптимистичному прогнозу А.Б. Чубайса [3], Россия имеет возможности перейти из младшей группы в лидирующую, минуя 2-ю и 3-ю группы.

Многие из стран (например, Швеция, Бразилия) снизили свои показатели — очевидно, в связи с влиянием кризиса. Интересно отметить также, что по сравнению с 2007 г. США, оставаясь лидером в области наноразработок, из высшей лиги переместились во вторую группу за счет невысокого относительного уровня выпуска продукции. По сумме показателей Япония является лидером в развитии нанотехнологии, хотя и в этой стране, как и в Южной Корее, отмечено снижение технологического уровня. Китаю пока не удалось перейти в группу лидеров, но заметно повысился его научно-технический потенциал.

Конечно, не следует переоценивать анализ [2], поскольку в рейтинге всегда важна полнота учета всех факторов и их «вес» в суммарных показателях. Наряду с положительными моментами кажется важным обратить внимание и на некоторые негативные стороны современного развития нанотехнологических исследований в нашей стране — это снижение уровня финансирования фундаментальных разработок, ведущихся в РАН и по проектам РФФИ, а также уменьшение публикаций в журналах, отражаемых в Science Citation Index. С девятого места по цитированию в области нанотехнологии в 2005 г. наша страна переместилась еще ниже, пропустив вперед Индию и другие страны. По динамике роста публикаций мы отстаем от Индии и Китая [4] (см. табл.).

В целом все же конференция NANO-2010, проходившая в кампусе крупнейшего в Европе университета Ла Сапиенца (основан в 1303 г; сейчас на 20 факультетах занимается около 140 тысяч студентов и аспирантов), продемонстрировала возрастающий интерес к наноструктурному материаловедению, способствовала ознакомлению с новыми результатами в этой области, помогла установить творческие связи и, конечно, ощутить прелесть и очарование древнего, но вечно молодого Рима.

ТАБЛИЦА | Динамика роста публикаций по странам в 2000 и 2007 гг.

| Страна | Количество наностатей | |
|--------|-----------------------|---------|
| | 2000 г. | 2007 г. |
| Китай | 1670 | 11 313 |
| Индия | 303 | 2291 |
| Россия | 816 | 1790 |

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://nano2100.mlib.cnr.it>
2. Нано Дайджест, 6 сентября 2010 г.
3. Чубайс А.Б. РОСНАНО: итоги трех лет и стратегия до 2015 г. Доклад на рабочем совещании, посвященном итогам деятельности Корпорации в 2007–2010 гг. и задачам по развитию рынка нанотехнологической продукции (10 сентября 2010 г.) www.rusnano.com
4. Liu X., Zhang P., Li X., Chen H., Dang Y., Larson C., Roco M.C., Wang X. // Trends for nanotechnology development in China, Russia and India. J. Nanoparticle Research. 2009. V. 11. P. 1845–1866.

Англо-русский словарь по **НАНОТЕХНОЛОГИЯМ**

Информационное агентство АРМС-ТАСС при содействии компании «Статус» выпустило новый словарь по нанотехнологиям (формат 245 x 175 мм, объем около 1000 стр., около 80 тыс. терминов и сокращений). Словарь в предлагаемом формате является одним из первых в мире изданий в этой области, охватывающим современную терминологию различных областей науки и техники. В их числе наноэлектроника, нанофотоника, наноматериалы для оптических, оптико-электронных, электронных и магнитных систем, сенсорные наноматериалы, наноэлектромеханические системы, наноробототехника, математическое моделирование нанотехнологий, нанодиагностика, функциональные и конструкционные наноматериалы, композиционные нанополимеры, наноматериалы для источников энергии, химические технологии наноматериалов, технологические процессы нанопроизводства с применением самосборки и самоорганизации в создании наноматериалов, нанобиотехнологии, нанотехнологии в медицине, авиационной, космической и военной технике, для борьбы с терроризмом, приборное оборудование для нанотехнологических исследований и др.



По вопросам приобретения обращаться в компанию «Статус»:
nanotechnology@status1.ru
тел.: +7 (495) 5850539

Конструкционные наноматериалы: повышение качества подготовки кадров

Ю.Д. Ягодкин, Н.Б. Емелина, С.В. Громов
Федеральное государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»,
115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 8/9
E-mail: seminar@misis.ru



Argonne National Laboratory

За последние два десятилетия в науке сформировалось новое направление, связанное с получением и использованием веществ в наносостоянии, т.е. когда размер структурной единицы конденсированной фазы хотя бы в одном направлении уменьшается до сотен нанометров и менее. В последние годы это направление — «Наночастицы, наноматериалы, нанотехнологии, наноустройства» — стало одним из наиболее приоритетных направлений науки и техники. По оценкам американских экспертов, объем продукции, в которой ключевую роль играют наноматериалы и нанотехнологии, к 2015 году достигнет 1 триллиона долларов США. В России в последнее время этому направлению также уделяется большое внимание: действуют научно-технические программы, проводятся научные конференции.

Очевидно, что успешное развитие нанотехнологий в России во многом будет определяться наличием высококвалифицированных кадров [1–3]. Важным шагом стало решение Министерства образования Российской Федерации (приказ № 2398 от 04.06.2003) об открытии в качестве эксперимента нового направления подготовки дипломированных специалистов «Нанотехнология» по специальностям «Наноматериалы» и «Нанотехнологии в электронике». Позже приказом Мин-

образования РФ № 1922 от 23.04.2004 г. было открыто направление подготовки бакалавров и магистров «Нанотехнология», и, наконец, приказом Минобрнауки РФ № 197 от 12.07.2005 г. направление подготовки «Нанотехнология» переведено из разряда экспериментальных в разряд действующих.

В рамках этого направления определено, что базовым вузом для специальности «Наноматериалы» является Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». С 2004 г. НИТУ «МИСиС» успешно ведет подготовку кадров по данной специальности, причем одним из важнейших направлений специализации являются конструкционные наноматериалы.

Принятые в последнее время постановления Правительства РФ о развитии нанотехнологий и выделенные на эти цели средства стимулируют развитие данного направления науки, особенно в части промышленного использования научных достижений. При этом Постановлением Правительства РФ от 2 августа 2007 г. № 498 определены основные тематические направления национальной нанотехнологической сети (ННС):

- наноэлектроника;
- наноинженерия;
- функциональные наноматериалы и высокочистые вещества;

- функциональные наноматериалы для энергетики;
- функциональные наноматериалы для космической техники;
- нанобиотехнологии;
- конструкционные наноматериалы;
- композитные наноматериалы;
- нанотехнологии для систем безопасности.

Таким образом, разработка, исследование и применение конструкционных наноматериалов относится к чрезвычайно важным проблемам развития nanoиндустрии России.

Учитывая необходимость совершенствования подготовки кадров для nanoиндустрии России, Федеральное агентство по образованию РФ в рамках мероприятия 2.3 «Формирование кадровой информационно-аналитической системы nanoиндустрии» приобрело у НИТУ «МИСиС» учебно-методическое обеспечение по программам высшего профессионального образования для тематических направлений национальной нанотехнологической сети «Конструкционные наноматериалы». НИТУ «МИСиС» в качестве головного вуза Университета ШОС по направлению подготовки «Нанотехнологии» также разработал в 2009 г. учебно-методические материалы и примерный учебный план подготовки магистров по магистерской программе «Конструкционные наноматериалы».

Следует отметить, что в 2005–2006 гг. ведущие российские вузы (НИТУ «МИСиС», РХТУ им. Д.И. Менделеева, СПбГЭТУ, МИЭТ) в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 годы» выполнили госконтракты, предусматривающие разработку новых образовательных профессиональных программ подготовки магистров и научных кадров, а также переподготовки специалистов в рамках приоритетного направления «Индустрия наносистем и материалов», научно-методического обеспечения апробации и распространения комплекта учебно-методической документации, обеспечивающей подготовку кандидатов наук, магистров и переподготовку специалистов в рамках данного приори-

тетного направления. Таким образом, практически сформирована правовая и методическая база подготовки и переподготовки кадров в области наноиндустрии, и началась ее реализация.

С целью повышения мотивации молодежи к работам в области наноматериалов НИТУ «МИСиС» в 2009 и 2010 гг. провел Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов вузов в области нанотехнологий и наноматериалов по разделам «Конструкционные наноматериалы». Также в 2009 г. по заданию Департамента образования г. Москвы и Московского комитета по науке и технологиям рядом вузов – и прежде всего НИТУ «МИСиС» и РХТУ им. Д.И. Менделеева – разработаны и освоены лабораторные работы для передвижного учебного класса «Наноматериалы и нанотехнологии».

Развитие наноиндустрии в России, в том числе по направлению «Конструкционные наноматериалы», невозможно без подготовки высококвалифицированных кадров и привлечения молодежи. Именно на решение последней задачи и направлена работа Всероссийской школы-семинара студентов, аспирантов и молодых ученых по тематическому направлению деятельности национальной нанотехнологической сети «Конструкционные наноматериалы», организованной ведущим вузом России – Национальным исследовательским технологическим университетом «МИСиС». Основная цель школы-семинара – повышение качества подготовки и уровня квалификации студентов, аспирантов и молодых ученых в области тематического направления деятельности национальной нанотехнологической сети «Конструкционные наноматериалы» на основе организации взаимного конструктивного обмена мнениями, данными и знаниями о состоянии и тенденциях развития науки и технологий.

В рамках Всероссийской школы-семинара специалисты мирового уровня в области конструкционных наноматериалов провели лекции по темам «Конструкционные металлические наноматериалы», «Полимерные конструкционные наноматериалы», «Спектроскопические и зондовые методы исследования наноматериалов» и «Дифракционные и микроскопические методы исследования наноматериалов».

Участники школы-семинара провели исследовательскую работу на базе центра коллективного пользования «Материаловедение и металлургия» и межкафедральной лаборатории «Наноматериалы», в процессе выполнения которой получили практическое представление об исследовании конструкци-

онных наноматериалов методом просвечивающей электронной микроскопии с использованием электронного микроскопа JEM-2100 и рентгеноструктурном анализе конструкционных наноматериалов с использованием рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima IV.

На специализированном практическом семинаре участники школы-семинара работали с междуниверситетской сетевой системой маршрутного обучения по направлению «Нанотехнологии».

В рамках школы-семинара состоялось обсуждение научных проектов участников мероприятия. В ходе этих выступлений молодые ученые познакомили коллег со своими работами, обсудили перспективные направления развития конструкционных наноматериалов, наладили контакты для дальнейшей работы и переняли друг у друга неоценимый опыт и массу новых идей.

В завершение Всероссийской школы-семинара был проведен круглый стол по теме «Актуальные проблемы тематического направления развития ННС «Конструкционные наноматериалы». Разработка, апробация, продвижение и коммерциализация проектов в области конструкционных медицинских наноматериалов».

Подобные мероприятия, безусловно, способствуют более эффективной работе участников процесса подготовки и переподготовки кадров в области конструкционных наноматериалов. Однако остается и целый ряд нерешенных проблем. Одной из основных нерешенных проблем при переходе высшей школы на двухуровневую систему подготовки кадров (бакалавров и магистров) — открытие самостоятельного направления подготовки «Наноматериалы». В подготовке кадров в области наноматериалов заинтересованы предприятия и организации ННС, а также ГК «Роснано». На заседании Учебно-методического совета по направлению «Нанотехнология» и на совещании ректоров и руководителей Научно-образовательных центров по данному направлению признано целесообразным поставить вопрос о выделении подготовки кадров в области наноматериалов в самостоятельное направление.

В связи с этим НИТУ «МИСиС» в качестве головной организации совместно со специалистами других

ведущих вузов (РХТУ им. Д.И. Менделеева, СПбГЭТУ, МАТИ им. Э.Н. Циолковского, МГТУ им. Н.Э. Баумана и др.) разработал на инициативной основе проект ФГОСа по направлению «Наноматериалы» для подготовки бакалавров и магистров. В настоящее время этот проект передан на рассмотрение в Министерство образования и науки РФ.

Отметим также, что для успешного развития подготовки кадров для наноиндустрии, в т.ч. в области конструкционных наноматериалов, необходимо решить еще ряд задач [1]:

- научно-обоснованного прогноза количественного и качественного состава необходимого рынка образовательных услуг;
- совершенствования материально-технической базы вузов, в том числе специализированной учебной техники и исследовательского оборудования, обеспечивающих эффективную подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров на основе широкой интеграции образовательного процесса, научных исследований и разработок;
- формирование информационно-аналитических систем наноиндустрии, в т.ч. в сфере современных образовательных технологий (информационные образовательные технологии, электронные учебники, системы удаленного доступа), адаптированных к динамичному рынку разработки, производства и применения продукции наноиндустрии;
- развитие и поддержка конкурентоспособных научно-педагогических школ, ориентированных на наноиндустрию, реализующих научный и образовательный процессы, обеспечивающие паритет России на международном рынке товаров и услуг;
- формирование не только специализированных вузовских научно-образовательных центров, но и системы региональных образовательных центров нанотехнологической культуры на основе интеграции школ, вузов, академических и отраслевых научно-исследовательских организаций, финансовых, патентных и венчурных организаций и промышленных предприятий и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А., Корляков А., Лучинин В., Таиров Ю. Профессионально ориентированное кадровое обеспечение наноиндустрии // Наноиндустрия. 2009. № 4. С. 77–81.
2. Лучинин В.В. Наноиндустрия и «человеческий капитал» // Наноиндустрия. 2007. № 6. С. 2–9.
3. Ягодкин Ю.Д., Астахов М.В., Филонов М.Р., Аксенов А.А. Развитие кадровой и информационно-аналитической составляющей инфраструктуры наноиндустрии // Перспективные материалы. 2008. Спец. выпуск (6). Часть 2. С. 426–429.

Каталог нанотехнологических ЦКП

«Российские нанотехнологии» публикуют сведения о центрах коллективного пользования научным оборудованием, которые выполняли в 2009–2010 гг. работы в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» (приоритетное направление «Индустрия наносистем и материалов»)*.



Ирина Соловей

В этом номере мы публикуем сведения о нанотехнологических ЦКП Уральского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов

Уральский федеральный округ

ЦКП «УРАЛЬСКИЙ ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ» УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. А.М. ГОРЬКОГО

Базовая научная организация или вуз, на территории которых располагается ЦКП: Уральский государственный университет им. А.М. Горького.

Год создания ЦКП, номер соответствующего приказа: 2002 г., приказ № 215 д/у от 04.07.2002.

Тип ЦКП (создан на базе лабораторий, факультетов, институтов и др.): создан на базе УЦКП «Сканирующая зондовая микроскопия» УрГУ, физического и химического факультетов и НИИ физики и прикладной математики УрГУ.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники, к которым относятся результаты научных исследований:

- индустрия наносистем и материалов,
- энергетика и энергосбережение,
- живые системы.

Общая численность сотрудников ЦКП: 108 человек.

Количество организаций – пользователей ЦКП в 2007–2009 гг. (по годам): 2007 г. – 7, 2008 г. – 16, 2009 г. – 25.

Руководитель ЦКП: д.ф.-м.н., проф. Шур Владимир Яковлевич.

Реквизиты ЦКП: 620083, Свердловская обл., г. Екатеринбург, просп. Ленина, 51, тел./факс: (343) 261-74-36.

E-mail: vladimir.shur@usu.ru

Сайт: <http://nano.usu.ru>

В структуру ЦКП входят:

- Уральский ЦКП «Сканирующая зондовая микроскопия»;
- Лаборатория вакуумных покрытий и слоистых наноструктур;
- Лаборатория лазерных нанотехнологий;
- Лаборатория магниторезонансной спектроскопии;
- Лаборатория механических испытаний;
- Лаборатория механической обработки кристаллов;
- Лаборатория оптической микроскопии;
- Лаборатория оптоэлектроники и нанофоники;
- Лаборатория получения и аттестации наноматериалов;
- Лаборатория прецизионных магнитных измерений;
- Лаборатория рентгеноструктурного анализа;
- Лаборатория реологических, структурных и термомеханических исследований;
- Лаборатория фотолитографии;
- Лаборатория электрофизических низкотемпературных измерений;
- Лаборатория элементного и молекулярного анализа;
- Лаборатория явлений переноса в наноструктурированных средах.

Перечень оборудования ЦКП:

- Атомно-силовой микроскоп Explorer, ThermoMicroscopes
- Зондовая нанолаборатория NTEGRA-Prima, HT-МДТ
- Зондовая нанолаборатория NTEGRA-Aura, HT-МДТ
- Зондовая нанолаборатория NTEGRA-Therma, HT-МДТ

* При составлении каталога использовались сайты ЦКП, их презентации, материалы информационно-аналитического центра по мониторингу сети ЦКП (ФГУП НИФХИ им. Л.Я. Карпова), другие источники.

- Зондовая нанолaborатория NTEGRA-Spectra, HT-МДТ
- Учебный класс сканирующей зондовой микроскопии Nanoeducator-10, HT-МДТ
- Механический профилометр Dektak 150, Veeco Instr Inc.
- Оптический профилометр Wyko NT 1100, Veeco Instr Inc.
- Оптический микроскоп Olympus BX-51
- Бесконтактный оптический видеоизмерительный микроскоп Kestrel-200/Peregrine, Vision Engineering
- Анализатор гранулометрического состава SALD 7101, Shimadzu
- Универсальный анализатор дисперсии наночастиц в растворах Brookhaven 90BI-Zeta Plus, Brookhaven Instruments Corporation
- Универсальный анализатор размера, дзета-потенциала и молекулярного веса наночастиц в растворах Zetasizer Nano ZS, Malvern Instruments
- Анализатор удельной поверхности TriStar 3000, Micromeritics
- Анализатор удельной поверхности Sorbi N41, Мета
- Термогравиметрический анализатор PYRIS 1 TGA, Perkin Elmer
- Газовый хроматограф/квадрупольный масс-спектрометр GC/MS 600 D, Perkin Elmer
- Газоаналитическая система на основе квадрупольного масс-спектрометра STA 409 Luxx/QMS 403 C Aëolos, Netzsch
- Термоанализаторы STA 409 PC Luxx, Netzsch
- Термомеханический анализатор TMA 202/1/G, Netzsch
- Дилатометр DIL 402C, Netzsch
- Вискозиметр ротационный RN 41, Rheotest
- Оптический реометр HAAKE MARS, Thermo Electron Corporation
- Испытательная машина AG-50kNXD, Shimadzu
- Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой iCAP-6500 Duo, Thermo Scientific
- Атомно-абсорбционный спектрометр Solaar M6, Thermo Scientific
- Исследовательский комплекс на базе ИК-Фурье-спектрометра Nicolet 6700, Thermo Scientific
- Спектрофлуориметр «Флюорат-02-Панорама», Люмэкс
- Система капиллярного электрофореза КАПЕЛЬ 105М, Люмэкс
- Газовый хроматограф с цифровым контролем газа-носителя Thermo Focus GC, Thermo Scientific
- Жидкостной хроматограф LC-20, Shimadzu
- Рентгеновский дифрактометр D8 ADVANCE, Bruker
- Спектрометр электронного парамагнитного резонанса EMX Plus, Bruker
- SQUID-магнитометр MPMS XL7, Quantum Design
- Измерительный комплекс для измерения физических свойств материалов DMS-1000, Dryogenic
- Анализатор импеданса E4991A RF, Agilent Technologies
- Импульсный твердотельный лазер с гармониками Brilliant, Quantel
- Комплект оборудования для измерения параметров лазерного излучения LaserStar, BeamStar FX50, Ophir
- Лазерная система для обработки материалов VL-300/40, ЦЛТ
- Лазерная система для обработки материалов Fmark-20 RL, ЦЛТ
- Система подготовки сверхчистой воды Elix 10, Millipore
- Система контроля качества фотолитографии BX-51, Olympus
- Лабораторная центрифуга Sawatec SM180-HP250HDMS, Sawatec Solutions
- Установка совмещения и экспонирования SUSS MJB4, Suss MicroTec
- Установка жидкостной очистки пластин OPTIwet ST30, SSE Sister Semiconductor Equipment
- Установка реактивно-ионного травления Plasmalab 80 plus RIE, Oxford Instruments
- Комбинированная установка вакуумного напыления Auto 500 Edwards, ВОО Edwards
- Установка магнетронного распыления ATC Orion 8 UHV, AJA International, Inc.
- Алмазная дисковая и проволочная пила Model 15, Logitech
- Станок для прецизионной шлифовки и полировки PM5, Logitech
- Планетарные мельницы Pulverisette 7, Fritsch

Услуги, оказываемые ЦКП:

- исследование в контактном режиме атомно-силовой микроскопии;
- исследование в полуконтактном режиме атомно-силовой микроскопии;
- исследование в режиме магнитной силовой микроскопии;
- измерение твердости материала;

ИнформНаука

агентство научной информации



**Над чем работают
российские ученые?**

Мы ждем новостей из первых рук.
Присылайте пресс-релизы,
свежие научные статьи, доклады

<http://www.strf.ru>, раздел Информнаука

+7 (495) 930-88-50, 930-87-07 e-mail: editorial@informnauka.ru

Наши подписчики: «Известия», «Вокруг света», «МК» и другие федеральные СМИ

- исследование в режиме электростатической силовой микроскопии;
- измерение рельефа поверхности с субнанометровым вертикальным разрешением и построение трехмерных изображений рельефа поверхности;
- измерение шероховатости поверхности;
- измерение толщины покрытий;
- визуализация трехмерного пространственного распределения оптических, фазовых и структурных неоднородностей;
- визуализация биологических материалов на субклеточном уровне;
- аттестация углеродных наноматериалов;
- трехмерная литография в фотоактивных материалах;
- визуализация и определение линейных размеров наночастиц, нанотрубок, зерен нанокристаллических материалов и других наноматериалов;
- измерение пространственной неоднородности механических, оптических, магнитных, электрических и других свойств с наноразрешением;
- визуализация магнитных и сегнетоэлектрических доменных структур;
- измерения твердости и модуля упругости в режиме наноиндентирования;
- исследование морфологии биологических объектов;
- проведение токовой, силовой и оптической нанолитографии;
- измерение профиля поверхности твердых объектов методом механической профилометрии;
- измерение спектров электронного парамагнитного резонанса;
- измерение спектров двойного электронно-ядерного резонанса;
- измерение спектров ферромагнитного резонанса;
- испытания на разрыв для определения предела прочности, предела текучести, предела пропорциональности и коэффициента упрочнения материала;
- прецизионная резка твердых веществ;
- шлифовка и высококачественная механическая и химико-механическая полировка;
- измерения на оптическом микроскопе;
- измерения на оптическом профилометре;
- визуализация кинетики и статики объектов в проходящем, отраженном и поляризованном свете в режимах светлого и темного поля в широком интервале температур;
- высокоскоростная видеосъемка высокого разрешения;
- обработка изображений, устранение дефектов, определение геометрических и статистических параметров;
- измерение рельефа поверхности с субнанометровым вертикальным разрешением и построение трехмерных изображений рельефа поверхности;
- измерение шероховатости поверхности;
- измерение толщины покрытий;
- исследование оптических свойств материалов;
- измерение основных характеристик (мощности, энергии и профиля пучка) источников лазерного излучения;
- тестирование элементов оптоэлектроники и нанофотоники с использованием лазерного излучения средней и высокой мощности в видимом, ИК- и УФ-диапазоне;
- измерения линейного расширения в зависимости от температуры при контролируемом усилии;
- определение температур стеклования, текучести и плавления;
- измерение линейного термического расширения твердых и жидких порошков, паст и керамических волокон;
- измерение проводимости материалов, электролит-электродных структур и полупроводниковых гетероструктур в широком диапазоне частот, величин проводимости, температур и типов атмосфер;
- рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ для качественного и количественного определения фазового состава, кристаллической структуры и размера кристаллитов в широком интервале температур;
- измерение внутренних напряжений и искажений кристаллической решетки;
- исследование структурных фазовых превращений;
- комплексный анализ дисперсии нано- и субмикронных частиц в растворах;
- построение распределений частиц по размерам;
- исследование процесса агрегации и агломерации;
- измерение проводимости растворов;
- адсорбционная порометрия – комплексный анализ дисперсности наноматериалов в сухом состоянии;
- адсорбционная порометрия – измерение суммарного объема и поверхности микро- и мезопор;
- адсорбционная порометрия – определение удельной поверхности нанопорошков;
- адсорбционная порометрия – построение распределений пор по размерам;
- одновременное исследование реологических свойств (вязкости, напряжения и скорости сдвига) и структуры деформируемых систем;
- определение реологических параметров в широком интервале температур;
- получение сверхчистой деионизованной воды аналитического качества;
- изготовление поверхностных микроструктур методом контактной литографии;
- формирование рисунка в фоторезисте на поверхности пластины;
- вакуумное нанесение тонких пленок металлов и диэлектриков;
- реактивно-ионное травление;
- разработка и заказ фотошаблонов;
- измерение магнитной восприимчивости наноматериалов в переменных магнитных полях различной частоты в широком диапазоне температур и постоянных магнитных полях;
- измерение электропроводности и постоянной Холла в широких диапазонах частот, температур и постоянных магнитных полей четырехконтактным методом;
- измерение температурной зависимости теплоемкости наноструктурных материалов релаксационным методом;
- определение качественного и количественного элементного состава материалов;
- определение элементного состава проб, включая водные и неводные растворы, с одновременным определением до 40 элементов в широком интервале концентраций;
- оптическая спектроскопия – измерение и анализ спектров отражения и пропускания в видимой, ближней и дальней ИК- и УФ-областях спектра;
- оптическая спектроскопия – количественный химический анализ по спектрам флуоресценции и поглощения;
- оптическая спектроскопия – измерение спектров комбинационного рассеяния с высоким пространственным и спектральным разрешением;
- оптическая спектроскопия – идентификация полос поглощения в ИК-спектре, относящихся к определенным функциональным группам анализируемых органических и полимерных материалов;
- анализ сложных смесей газов и жидкостей с идентификацией и количественным определением компонентов;
- качественный и количественный анализ газообразных продуктов разложения неорганических веществ;
- дифференциальная сканирующая калориметрия, дифференциальный термический анализ и термогравиметрия, в том числе синхронно с масс-спектрометрическим анализом в широком интервале температур.

Сибирский федеральный округ

ЦКП «ТЕХНОЛОГИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ, МЕТАЛЛИЧЕСКИХ, УГЛЕРОДНЫХ, БИООРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ НА НАНОУРОВНЕ»

Базовая научная организация или вуз, на территории которых располагается ЦКП: Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН.

Год создания ЦКП, номер соответствующего приказа: 2003 г., приказ № 7-017 от 01.04.2003.

Тип ЦКП (создан на базе лабораторий, факультетов, институтов и др.): ЦКП является структурным подразделением ИФП СО РАН и создан на базе лаборатории «Нанолитографии и нанодиагностики». Вспомогательными подразделениями являются лаборатории Института катализа им. Борескова СО РАН и НГУ.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники, к которым относятся результаты научных исследований:

- индустрия наносистем и материалов,
- рациональное природопользование,
- живые системы.

Общая численность сотрудников ЦКП: 74 человека.

Количество организаций – пользователей ЦКП в 2007–2009 гг. (по годам): 2007 г. – 30, 2008 г. – 38, 2009 г. – 23.

Руководитель ЦКП: член-корр. РАН Латышев Александр Васильевич.

Реквизиты ЦКП: 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 13, тел.: (383) 330-90-82, тел./факс: (383) 333-10-80.

E-mail: latyshev@thermo.isp.nsc.ru

Сайт: <http://lib.isp.nsc.ru/ckp/>

Перечень оборудования ЦКП:

- СВВ-установка для анализа поверхности методами Оже и РФЭС Surface Science Center
- СВВ-установка для анализа поверхности методами Оже и РФЭС LAS-3000
- СВВ-установка для анализа поверхности NANOSCAN-50
- СВВ-сканирующий туннельный микроскоп AFM/STM
- Сканирующий зондовый микроскоп Solver P-47H
- Сканирующий зондовый микроскоп Solver P-47LS
- Электронный спектрометр VG ESCA-3
- Электронный спектрометр VG ESCA-HP
- Электронный спектрометр VG ADES-400
- СТМ GPI300 / электронный спектрометр ЭСО-3
- Сканирующий мультимикроскоп CMM2000T
- Фотоэлектронный спектрометр VGS 2000 ESCA
- Просвечивающий электронный микроскоп JEM-4000EX
- Растровый электронный микроскоп LEO-1430
- Высокорастворяющий электронный микроскоп JEM-2010
- Электронный литограф ZBA-21

Услуги, оказываемые ЦКП:

- проведение исследований различными методами электронной микроскопии атомной структуры, морфологии и химического состава;
- оперативный контроль атомарных поверхностей методами сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии;
- химический анализ различными аналитическими методами;
- создание структуры пониженной размерности для нанoeлектроники и наномеханики методами электронной и зондовой литографии широкого класса материалов из различных областей фундаментальной и прикладной науки, включая материаловедение, катализ, минералогия и биологию.

ЦКП «ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НАУЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ «ГЕНОФОНДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ»

Базовая научная организация или вуз, на территории которых располагается ЦКП: Институт цитологии и генетики СО РАН.

Год создания ЦКП, номер соответствующего приказа: 2009 г.

Тип ЦКП (создан на базе лабораторий, факультетов, институтов и др.): создан на базе виварного комплекса ИЦиГ СО РАН и SPF-вивария ИЦиГ СО РАН.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники, к которым относятся результаты научных исследований:

- индустрия наносистем и материалов,
- живые системы.

Общая численность сотрудников ЦКП: 39 человек.

Руководитель ЦКП: д.б.н., проф. Мошкин Михаил Павлович.

Реквизиты ЦКП: 630091, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 10/2, тел.: (383) 363-49-67, доб. 7207, факс: (383) 333-12-78.

E-mail: mmp@bionet.nsc.ru

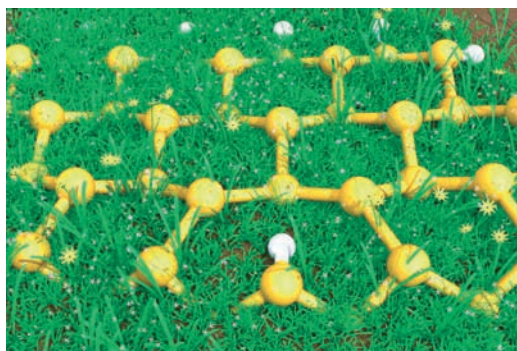
Сайт: <http://www.bionet.nsc.ru/labs/viv/About.html>

В структуру ЦКП входят:

- Криобанк и лаборатория репродуктивных технологий;
- Сектор племенного разведения;
- Лаборатория трансгенеза;
- Сибирская мышьяная клиника (лаборатория фенотипирования);
- Межинститутская томографическая лаборатория;
- Службы генетического и ветеринарного контроля лабораторных животных.

Перечень оборудования ЦКП:

- Комплект IVC-оборудования для содержания SPF-животных в индивидуально-вентилируемых клетках
- Комплект оборудования для содержания лабораторных животных в стандартных клетках



российский электронный НАНОЖУРНАЛ

»nanorf.ru

новости • аналитика • карьера

- Анализатор крови Hema-Screen-18
- Томограф Bruker «BioSpec 117/16USR»
- Моечное и стерилизационное оборудование в комплекте Millipore
- Криогенное оборудование Espace
- Устройство для замораживания эмбрионов ARPEGE 70
- Холодильное оборудование Polair
- Стереомикроскоп Carl Zeiss
- Видеокамера Canon
- Электронный микроскоп LIBRA 120
- Лазерный сканирующий микроскоп LSM 510
- Лазерный микродиссектор PALM
- Микроскоп Axioplan 2 Imaging E-mot
- Микроскоп Axioskop 2 Plus (2 ед.)
- Микроскоп + ApoTome Axiomager.Z1
- Микроскоп Axiovert 40 CFL
- Микроскоп Stemi 2000 C
- Микроскоп SteREO Lumar V12
- Микроскоп Axiomager.M1
- Микротом HM 355S
- Микротом HM 650V
- Микротом-криостат HM 550 (2 ед.)
- Ультрамикротом EM UC 6
- Станция для заливки биологических тканей парафином EC 350
- Ячейка для препаративной изоэлектрофокусировки MICROROTOFOR CELL
- Система блот-переноса TRANS-BLOT CELL
- Система полусухого блот-переноса TRANS-BLOT SD
- Электрофоретическая ячейка MINI-Protean (2 ед.)
- Система для изоэлектрофокусировки Protean IEF System
- Электрофоретическая ячейка Mini-PROTEAN 3 Dodeca Cell
- Электрофоретическая ячейка PROTEAN II xi 2-D Cell
- Система для вырезания пятен из геля (в комплекте) EXQuest Spot Cutter with PC
- Гель-документирующая система (в комплекте) VersaDoc Model MP 4000 Imaging System, PC
- Масс-спектрометр MALDI TOF/TOF ULTRAFLEX III

Услуги, оказываемые ЦКП:

- создание архива генетических линий беспатогенных (SPF) животных (мышей и крыс) на основе племенного разведения и криоконсервации половых клеток и эмбрионов на ранней стадии развития;
- создание путем селекции и генно-инженерных манипуляций генетических линий животных – моделей патологий человека (в том числе и этнические ориентированных) для решения конкретных задач пользователей;
- перевод в SPF-стандарт новых генетических линий животных, полученных организациями-пользователями путем селекции, генной инженерии или отловленных в природе;
- выполнение трансферных функций при обмене с российскими и международными центрами биомоделирования животными или криоконсервированными половыми клетками, эмбрионами и замороженными эмбриональными стволовыми клетками;
- предоставление лабораторных животных SPF-статуса с заданными генетическими свойствами в соответствии с заявками организаций-пользователей для их работы на базе собственной инфраструктуры (как из генотипов, имеющих в архиве ЦКП, так и путем заказов в международных центрах биомоделей);
- предоставление пользователям возможности проведения исследований в чистой зоне SPF-вивария в соответствии с GMP- и GLP-стандартами на уникальных приборах, программном обеспечении и другом техническом и технологическом оборудовании SPF-вивария;
- прижизненное этологическое, морфологическое, физиологическое и биохимическое фенотипирование животных с

- использованием широкого спектра современных подходов;
- создание на лабораторных животных этологических, фармакологических и хирургических моделей патологий человека;
- подготовка лабораторных животных, содержащих имплантируемые устройства, для мониторинга физиологических параметров и дозированного ввода лекарственных препаратов и биологически активных веществ;
- разработка технологий криоконсервирования уникальных пород домашних и domesticированных животных, а также видов, исчезающих из мировой фауны;
- консультационная поддержка организаций-пользователей в создании инфраструктуры для работы с беспатогенными животными;
- создание на базе ЦКП инфраструктуры для фундаментальных исследований и доклинических испытаний на беспатогенных (SPF) животных (при разработке новых лекарств в соответствии с GLP- и GMP-стандартами);
- выполнение силами обученного персонала ЦКП работ по испытанию новых средств профилактики и лечения болезней (под руководством организаций-заказчиков);
- проведение исследований в области нанобиобезопасности.

ЦКП «СИБИРСКИЙ ЦЕНТР СИНХРОТРОННОГО И ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ»

Базовая научная организация или вуз, на территории которых располагается ЦКП: Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН.

Год создания ЦКП, номер соответствующего приказа: 1981 г., постановление Президиума СО АН СССР № 588 от 1 декабря 1981 г. Тип ЦКП (создан на базе лабораторий, факультетов, институтов и др.): создан на базе лабораторий института.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники, к которым относятся результаты научных исследований:

- индустрия наносистем и материалов,
- рациональное природопользование,
- энергетика и энергосбережение,
- живые системы,
- информационно-телекоммуникационные системы.

Общая численность сотрудников ЦКП: 75 человек.

Количество организаций – пользователей ЦКП в 2007–2009 гг. (по годам): 2007 г. – 69, 2008 г. – 55, 2009 г. – 35.

Руководитель ЦКП: академик РАН Кулипанов Геннадий Николаевич.

Реквизиты ЦКП: 630090, г. Новосибирск, просп. Лаврентьева, 11, тел.: (383) 329-44-98, факс: (383) 330-71-63.

E-mail: G.N.Kulipanov@inp.nsk.su

Сайт: <http://ssrc.inp.nsk.su/>

Перечень оборудования ЦКП:

- Электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-4М на энергию 6 ГэВ
- Накопитель ВЭПП-3 (энергия инъекции 350 МэВ, максимальная энергия 2000 МэВ)
- Экспериментальные станции СИ на накопителе ВЭПП-3:
 - «LIGA-технология и рентгеновская литография»
 - «Взрыв» – субмикросекундная диагностика»
 - «Прецизионная дифрактометрия и аномальное рассеяние»
 - «Локальный и сканирующий рентгенофлуоресцентный элементный анализ»
 - «Дифрактометрия в жестком рентгеновском излучении»
 - «Рентгеновская микроскопия и микротомография»
 - «Дифракционное «кино» (дифрактометрия с временным разрешением) и малоугловое рассеяние»
 - «Люминесценция с временным разрешением»
 - «Прецизионная дифрактометрия»

- «Технический канал. Стабилизация положения пучка СИ»,
- «EXAFS-спектроскопия»
- «Метрология и EXAFS-спектроскопия в мягком рентгеновском диапазоне»

Услуги, оказываемые ЦКП:

- Разработка и создание оборудования.
- Предоставление пучков синхронного и терагерцевого излучения.

Дальневосточный федеральный округ

ЦКП «ЛАЗЕРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД, БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

Базовая научная организация или вуз, на территории которых располагается ЦКП: Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН.

Год создания ЦКП, номер соответствующего приказа: 2006 г., постановление Президиума ДВО РАН № 63 от 26 июня 2006 г. Тип ЦКП (создан на базе лабораторий, факультетов, институтов и др.): создан на базе Института автоматики и процессов управления и Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники, к которым относятся результаты научных исследований:

- рациональное природопользование,
- индустрия наносистем и материалов,
- живые системы,
- информационно-телекоммуникационные системы.

Общая численность сотрудников ЦКП: 30 человек.

Количество организаций – пользователей ЦКП в 2007–2009 гг. (по годам): 2007 г. – 20, 2008 г. – 25, 2009 г. – 25.

Руководитель ЦКП: член-корр. РАН Кульчин Юрий Николаевич.

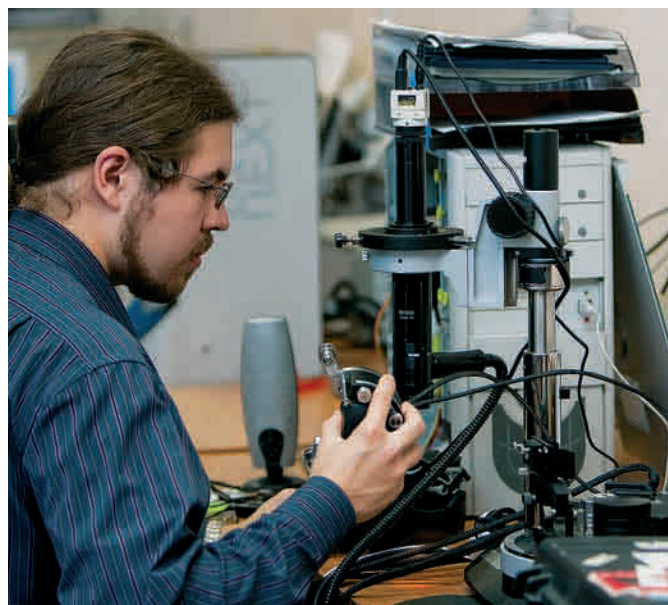
Реквизиты ЦКП: 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5, тел.: (4232) 31-04-39, факс: (4232) 31-75-95.

E-mail: kulchin@iacp.dvo.ru

Сайт: <http://www.iacp.dvo.ru/russian/structure/centres.html>,
http://www.febras.ru/coll_centers/3.pdf (презентация)

В структуру ЦКП входят:

- Лаборатория прецизионных оптических методов измерения;
- Лаборатория физических методов мониторинга природных и техногенных объектов;
- Лаборатория лазерных методов исследования вещества;
- Лаборатория лазерной спектроскопии.



Илья Соловьев

Перечень оборудования ЦКП:

- Лидарный комплекс для измерения динамических характеристик атмосферы
- Малогабаритный лазерный флуориметр
- Судовой лидар
- Оптический параметрический генератор VIBRANT B LD 355-UV
- Комплекс регистрации и обработки слабых оптических сигналов
- Фемтосекундный лазер Millennia PRO
- Рентгеновская система малоуглового и широкоуглового рассеяния Hecus S3-MICRO
- УФ-ИК-спектрофотометр Varian Cary 5000
- Сканирующий электронный микроскоп TM-1000
- Сканирующий электронный микроскоп HITACHI S-3400N с EDS- и WDS-детекторами
- Универсальный цифровой видеомикроскоп высокого разрешения HIROX KH-7700
- Спектральный эллипсомерический комплекс «ЭЛЛИПС-1891 САГ»
- Приборный комплекс для исследования объектов методом полного внутреннего отражения Nikon Eclipse 90i с системой двух наноманипуляторов для трехмерного перемещения объектов
- Прибор для изготовления микропипеток, волоконно-оптических датчиков и нанораспыляющих кончиков (пуллер) P-2000
- Установка анализа структуры поверхности (атомно-силовой микроскоп) NanoDST

Услуги, оказываемые ЦКП:

- измерение концентрации элементов, входящих в водные растворы (в частности, концентрации элементов в морской воде и клетках фитопланктона) с использованием калибровочных спектров лазерной искровой спектроскопии (ЛИС) водных растворов;
- измерение концентрации хлорофилла «а» по спектрам лазерной индуцированной флуоресценции;
- измерение спектральных показателей конденсированных сред в диапазоне длин волн 190–3300 нм;
- измерение оптических нелинейных и спектральных показателей биоминеральных структур с помощью фемтосекундного лазера;
- ориентация на плоскости и позиционирование микро-структур с использованием оптического микроскопа NIKON ECLIPSE 90i с микроманипуляторной системой;
- получение оцифрованных изображений структурированных материалов и выполнение измерений по трем координатам с помощью цифрового видеомикроскопа высокого разрешения HIROX KH-7700;
- измерение концентрации элементов, входящих в состав твердых тел, методом лазерной искровой спектроскопии;
- измерение газового состава атмосферы с использованием лидара комбинационного рассеяния;
- локальный анализ фазового состава многокомпонентных систем;
- измерение массо-размерных характеристик наночастиц в жидких средах;
- исследование наноструктурной организации материалов с использованием атомно-силового микроскопа.

Читаем новинки

В ООО «Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний» в 2010–2011 гг. выйдет серия книг, посвященных нанотехнологиям. В серии представлены как научно-популярные, написанные доступным языком книги, так и издания, предназначенные для абитуриентов, педагогов технических вузов и научных сотрудников. Ниже приведены краткие аннотации изданий по теме «Нанотехнологии», которые помогут определиться с выбором необходимой книги.



В книге доступно и занимательно рассматриваются три основных направления нанотехнологий: новые материалы, нанoeлектронные устройства, биотехнологии. Читатели узнают, что такое нанотехнологии, какие приборы

требуются для создания вещей из мира «нано» и как эти вещи будут выглядеть. Качественные иллюстрации, головоломки и тесты по тематике нанотехнологий сделают эту книгу особенно интересной школьникам средних классов.



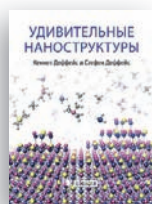
В свете современного развития нанотехнологии и микромеханики рассмотрены процессы и системы вакуумно-плазменного травления, находящие широкое применение в производстве современных ультрабольших интегральных схем, изделий микроэлектромеханических систем и наносистем. Проанализированы способы обеспечения вакуумно-технических требований к проведению этих процессов, приведены методы контроля и диагностики, позволяющие достаточно глубоко понять характер протекающих процессов с целью соответствующей оптимизации технологии и оборудования.

Издание адресовано студентам вузов, изучающим процессы микро- и нанoeлектроники, а также аспирантам, инженерам и научным работникам, занимающимся вопросами технологии интегральных схем и микромеханики.



Впервые сделана попытка представить систематизированную картину мирового и российского рынка нанопродуктов глазами специалистов в области маркетинга, конкуренции и управления. Книга формирует комплексное восприятие рынка, его угроз и возможностей, стратегий внедрения на рынок и механизмов создания

наноиндустрии, генерирующей прибыль от наноинноваций. Фактографическая база основана на данных консалтинговых и аналитических компаний мировой наноиндустрии и полевых маркетинговых исследований наноиндустрии России. Книга подготовлена в рамках аналитического проекта Министерства образования и науки Российской Федерации и предназначена для работников научных и производственных организаций, разрабатывающих и производящих нанопродукты, преподавателей, аспирантов и студентов нанотехнологических вузов и других участников национальной нанотехнологической сети России. Издание будет полезно широкому кругу читателей, позиционирующих себя «потребителями новаций».



В данном красочном издании собраны точные и удивительно красивые изображения структур разнообразных объектов наномира. Некоторые из них представляются очень простыми, другие же, напротив, весьма сложными. Однако во всех случаях мы видим странные и интересные объекты, иллюстрирующие строение веществ на атомарном уровне. Предлагаемые структуры позволяют читателю оценить неожиданные возможности «наноархитектуры» и уловить взаимосвязь между особенностями строения и известными физико-химическими свойствами веществ. Более того, читатель сам может легко убедиться, насколько условия представления о простоте или сложности, особенно когда речь идет о биологических соединениях или о кристаллических решетках с несколькими необычными свойствами симметрии. Все иллюстрации снабжены короткими рассказами, написанными на высоком научном уровне. Книга предназначена для широкого круга читателей.

мирует комплексное восприятие рынка, его угроз и возможностей, стратегий внедрения на рынок и механизмов создания наноиндустрии, генерирующей прибыль от наноинноваций. Фактографическая база основана на данных консалтинговых и аналитических компаний мировой наноиндустрии и полевых маркетинговых исследований наноиндустрии России. Книга подготовлена в рамках аналитического проекта Министерства образования и науки Российской Федерации и предназначена для работников научных и производственных организаций, разрабатывающих и производящих нанопродукты, преподавателей, аспирантов и студентов нанотехнологических вузов и других участников национальной нанотехнологической сети России. Издание будет полезно широкому кругу читателей, позиционирующих себя «потребителями новаций».



Монография всеобъемлюще отражает самые последние сведения в области изучения и применения нанотрубок за последние двадцать лет.

Приведена информация о методах их получения, структуре, электронных, оптических, механических, магнитных и эмиссионных свойствах. Описаны во многом удивительные изобретения, полученные с помощью этих новых материалов: одноэлектронный, полевой и квантовый нанотранзисторы, химические сенсоры, источники оптического и рентгеновского излучения, логические элементы, ячейки памяти и даже радиоприемник на одной-единственной углеродной нанотрубке. Значительное внимание уделено расчетам электронного строения нанотрубок с помощью метода линейаризованных присоединенных цилиндрических волн. Один из разделов книги посвящен новому направлению в науке — нанoeлектромагнетизму.

Книга адресована научным сотрудникам, аспирантам, студентам физико-химических и инженерных специальностей. Некоторые разделы вполне доступны для понимания даже старшеклассникам.



Разделение данной книги на два тома обусловлено большим объемом материала, касающегося интегральных микро- и нанотехнологий; при этом каждый из томов представляет вполне самостоятельный интерес. Во втором

томе изложены технологические и конструктивные основы и особенности методов формирования и «сухого» травления на поверхности подложки тонких слоев и локальных областей проводящих, диэлектрических и полупроводниковых материалов в условиях уменьшения размеров элементов до нанометрового диапазона для интегральных технологий микро- и нанoeлектроники, оптоэлектроники, микро-системной техники. Рассматриваются эпитаксиальные процессы, процессы вакуум-термического и ионно-плазменного осаждения, ионного, ионно-химического и плазмохимического травления, термического окисления, методы легирования термической диффузией и ионной имплантацией, а также процессы фотолитографии.

Для студентов и аспирантов высших учебных заведений, специализирующихся в области микро- и нанoeлектроники, микроэлектромеханических систем, физики твердого тела, материаловедения. Книга может быть полезна инженерно-техническим работникам соответствующих областей.