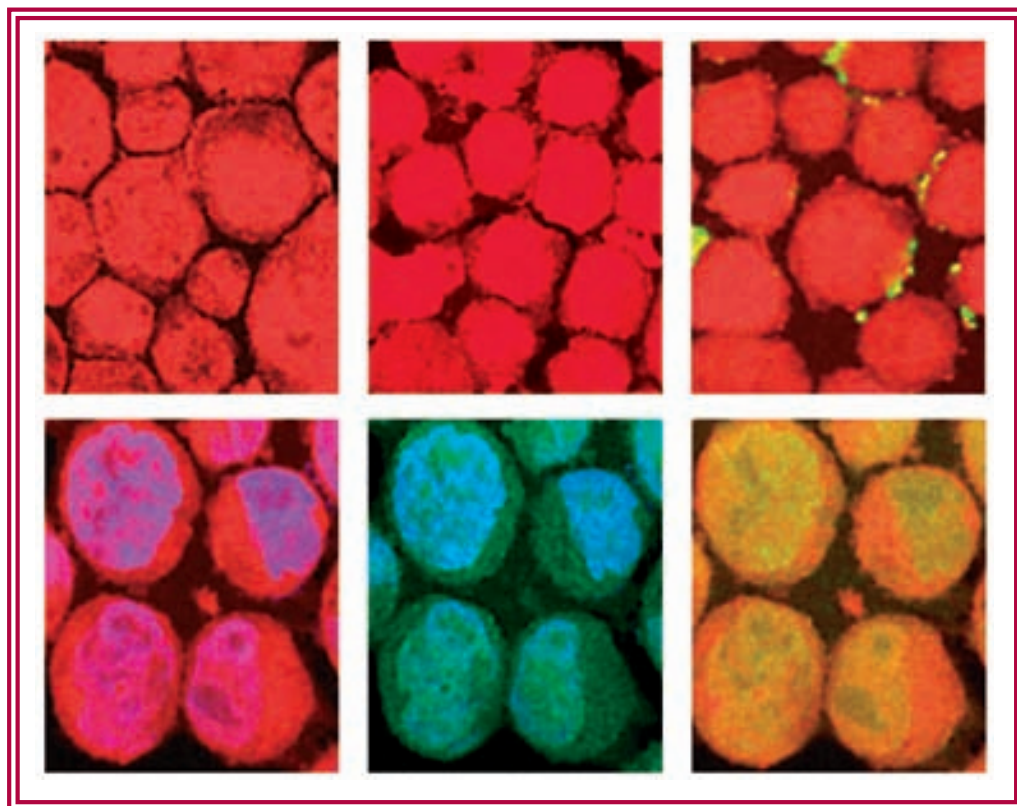


## Наночастицы на основе сукцинилированного хитозана с доксорубицином: формирование и свойства

- Сорбция паров нафталина на полимерных наночастицах с молекулярными отпечатками в оболочках
- Особенности роста топологических массивов углеродных нанотрубок
- Итоговая конференция по результатам выполнения мероприятий ФЦП



ISSN 19927223



9 771992 722003



Supported by:



UNITED ARAB EMIRATES  
MINISTRY OF FOREIGN TRADE

# Annual Investment Meeting 2012

## Financing Possibilities in Frontier & Emerging Markets

(Conference, Exhibition, B2B Meeting)

01 - 03 May 2012

Dubai International Convention & Exhibition Centre  
Dubai, United Arab Emirates



### AIM 2012 Features

The Annual Investment Meeting 2012 offers a variety of features aimed at facilitating strategic networking while providing a worthwhile learning experience.

AIM 2012 features include:

- AIM Conference
- AIM Country Presentations
- AIM Ministerial One-To-One Meetings
- AIM Exhibition
- AIM Ministerial Networking Roundtable
- AIM B2B Meetings
- AIM Workshops
- AIM Investors Site Visits
- AIM MOU Signing

### AIM Networking Functions

- Opening Ceremony
- Gala Dinner
- Country Focused Cocktail Receptions
- IPA & Investors Power Lunch



### Corporate Partners

Premier Partner



Host City Partner



UAE Business  
Community Partner



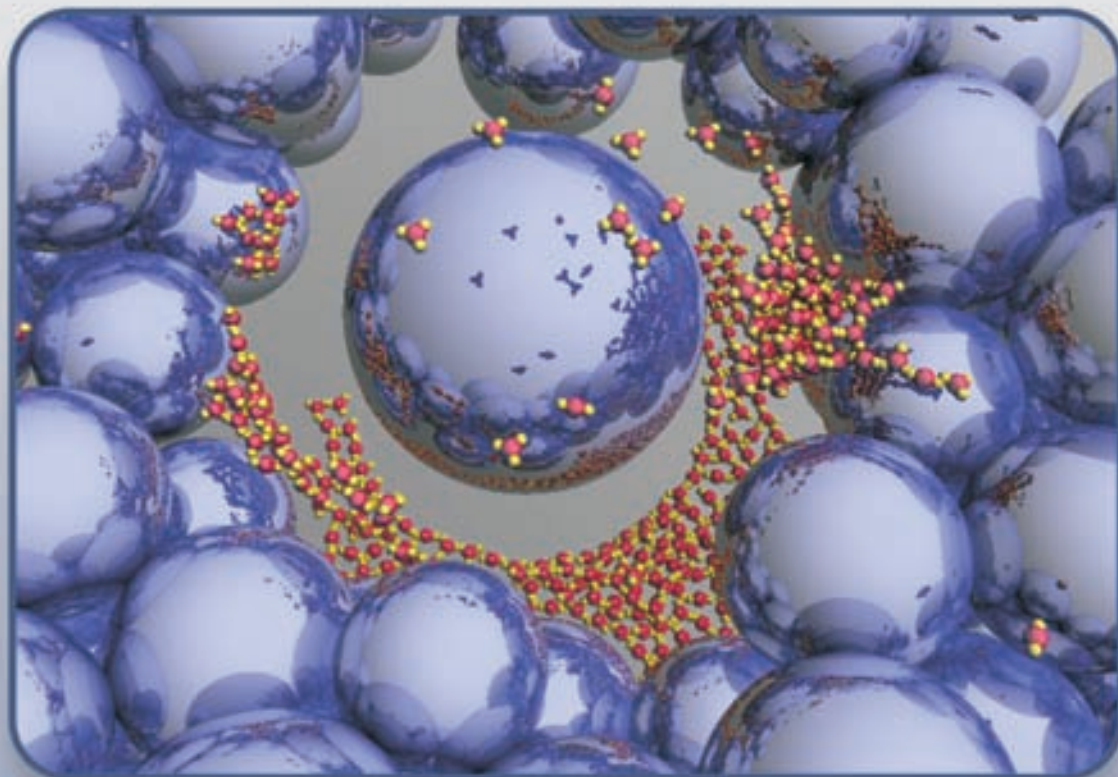
Media Partner



Confirm your participation now

Email: [info@aimcongress.com](mailto:info@aimcongress.com)  
Phone: 00971 4 28 29 299  
Fax: 00971 4 28 28 767

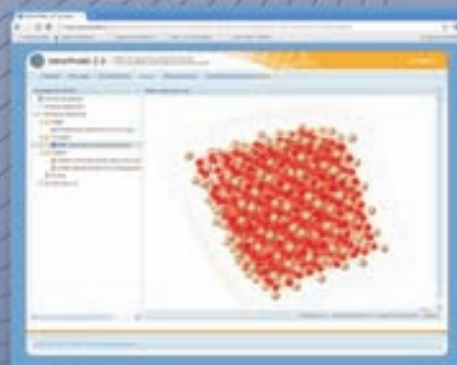
[www.aimcongress.com](http://www.aimcongress.com)



## МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ

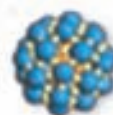
### Учебно-методический программный комплекс

- Современный электронный образовательный ресурс
- Виртуальный лабораторный практикум по нанотехнологическим специальностям в вузах
- Интеграционная платформа для компьютерных моделей, алгоритмов и визуализаторов с веб-интерфейсом
- Интерактивная демонстрационная площадка результатов научно-исследовательских работ



### Демонстрация комплекса в вашем городе

Если вас заинтересовал Учебно-методический программный комплекс «Многомасштабное моделирование в нанотехнологиях», компания SIAMS и Центр фотохимии РАН проведет демонстрацию возможностей комплекса для вашей организации.



**nanoModel.ru**

Тел.: +7 343 379 00 34 (35)

E-mail: [info@siams.com](mailto:info@siams.com)

Web: [www.nanomodel.ru](http://www.nanomodel.ru)

# Оправдываются ли прогнозы экспертов?



Игнат Соловьев

**В** 2006 г. Рэнд Корпорейшн опубликовала прогноз мирового технологического развития до 2020 г. «The Global Technology Revolution 2020, In-Depth Analyses» (Bio/Nano/Materials/Information Trends, Drivers, Barriers and Social Implications). Именно в этом году стартовали в России программы развития исследований и разработок в области нанотехнологий (Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы»).

Сегодня, в 2012 г., интересно оценить, в какой мере эти прогнозы уже оправдались и как согласуются с этими прогнозами современные российские разработки. Рассмотрим эту проблему с точки зрения изделий (материалов, устройств, приборов, товаров широкого потребления) и технологий.

По прогнозу Рэнд Корпорейшн следующие продукты нанотехнологий должны быть произведены до 2020 г.:

- 1 – миниатюрные, высокочувствительные и селективные химические и биологические сенсоры;
- 2 – электрические батареи с высокой емкостью;
- 3 – персональные сенсоры для военного персонала и служб чрезвычайных ситуаций;
- 4 – компьютерные устройства, интегрированные в разнообразные изделия (в том числе те, которые производятся);
- 5 – переносные диагностические устройства медицинского мониторинга, способные записывать и передавать эти данные;
- 6 – функциональные наноустройства, контролирующие доставку лекарств и улучшающие характеристики имплантов и протезов;
- 7 – устройства и системы широкого наблюдения за людьми и окружающей средой;
- 8 – наноструктурированные покрытия и материалы с повышенной прочностью и упругостью, эксплуатационной и коррозионной стойкостью;
- 9 – одежда, которая адаптируется к внешним воздействиям;
- 10 – устройства освещения и дисплеи с повышенной яркостью на основе органических материалов;
- 11 – солнечные батареи на основе наноструктурированных материалов.

Большинство из названных изделий нанотехнологий уже существуют на мировом рынке. Однако некоторые из прогнозируемых изделий «не видны» даже среди завершённых разработок (1, 6).

На поляне формирующейся (растущей) российской индустрии пока спектр продуктов невелик – 2, 7, 8, 11.

В прогнозе анализу технологий, на которых будет базироваться будущая nanoиндустрия, уделено мало внимания. Приоритет отдан продуктам. В качестве потенциально возможных в 2020 г. нанотехнологий («wildcard» nanotechnologies) в прогнозе указана молекулярная или биологическая сборка индивидуальных полупроводниковых или металлических нанопроводов для индивидуальных функциональных элементов в интегральных схемах. Пока эти технологии не реализованы в промышленном масштабе.

Сегодня видно, что такой «случайной картой» нанотехнологий станут принтиговые технологии, которые не обсуждались в прогнозе. В настоящее время на основе принтиговых нанотехнологий производятся светодиоды, солнечные батареи, интегральные схемы, RFID-метки и т.д. (Printed Electronic pow). В этом сегменте наблюдается своеобразный бум. В РФ активность в разработках на этом сегменте невысока, несмотря на рекомендации специалистов, в том числе и в статьях нашего журнала.

**Главный редактор, академик РАН  
М.В. АЛФИМОВ**

# РОССИЙСКИЕ НАНО ТЕХНОЛОГИИ

январь-февраль 2012

ТОМ 7, №1-2

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  
М.И. Алымов, В.М. Говорун, А.А. Горбачевич,  
С.П. Громов, А.М. Желтиков, А.Н. Озерин,  
А.Н. Петров, Б.В. Потапкин, В.Ф. Разумов,  
И.П. Суздальев, С.П. Тимошенко,  
Я.И. Штромбах, Е.Б. Яцишина

*Издатель:* А.И. Гордеев  
*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

*Фотоподбор:* М.Н. Морозова

*Распространение:* Е.Л. Пустовалова

*E-mail:* [podpiska@nanorf.ru](mailto:podpiska@nanorf.ru), [www.nanorf.ru](http://www.nanorf.ru), [www.nanoru.ru](http://www.nanoru.ru)

*Дизайн журнала:* С.Ф. Гаркуша

*Корректура:* Г.В. Калашникова

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) 930-87-07.

*E-mail:* [podpiska@nanorf.ru](mailto:podpiska@nanorf.ru), [www.nanorf.ru](http://www.nanorf.ru), [www.nanoru.ru](http://www.nanoru.ru)

ISSN 1992-7223

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

© РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ, 2012

Номер подписан в печать 7 февраля 2012 г.

Тираж 1000 экз. Цена свободная.

Отпечатано в типографии «МЕДИА-ГРАНД»

## СОДЕРЖАНИЕ

Слово редактора..... 2

Инфраструктурная программа завершилась.  
Что сделано?..... 6

Федеральный интернет-портал «Нанотехнологии и наноматериалы» как основной компонент информационно-аналитической системы развития nanoиндустрии..... 11

Образование в сфере нанотехнологий: опыт Вятского государственного гуманитарного университета..... 14

Итоговая конференция по результатам выполнения мероприятий ФЦП..... 17

VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны, электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-, био-, инфо-, когнитивные технологии»..... 18

CALS-технология плазменно-криогенного синтеза нанодисперсного кремния..... 20

Импорт-  
фактор РИНЦ

0.779

Выходит

6 раз  
в год

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.

#### Как его найти:

Смотрите страницу на сайте ВАК:  
[http://vak.ed.gov.ru/ru/help\\_desk/list/](http://vak.ed.gov.ru/ru/help_desk/list/)

Журнал «Российские нанотехнологии», его англоязычная версия и приложения к нему издаются при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Англоязычная версия  
распространяется

Springer

Журнал  
индексируется в базе

Scopus

Публикация в журнале  
бесплатная

## Самоорганизующиеся структуры и наносборки

В.А. Сажников, А.М. Музафаров, В.Н. Копысов, В.М. Аристархов, Ю.Н. Кононевич, И.Б. Мешков, Н.В. Воронина, М.В. Алфимов  
**Кремнеземные наночастицы с ковалентно привитым флуорофором как супрамолекулярные хеморецепторы с селективным откликом на аналиты** .....24

А.В. Кошкин, В.А. Сажников, А.Ю. Меньшикова, Г.А. Панкова, Т.Г. Евсеева, М.В. Алфимов  
**Сорбция паров нафталина на полимерных наночастицах с молекулярными отпечатками в оболочках** .....31

## Наноструктуры, включая нанотрубки

А.С. Басаев, Е.В. Благов, В.А. Галлерин, А.А. Павлов, Ю.П. Шаман, А.А. Шаманаев, С.В. Шаманаев, А.С. Приходько  
**Особенности роста топологических массивов углеродных нанотрубок** .....37

Б.А. Гурович, К.Е. Приходько, А.Н. Талденков, А.Г. Домантовский, Д.А. Комаров, Л.В. Кутузов  
**Создание металлических нанопроводов методом селективного удаления атомов и исследование их свойств** 41

В.Д. Фролов, С.М. Пименов, В.И. Конов  
**Определение ключевых факторов низкополевой электронной эмиссии из углеродных наноструктур** .....46

## Наноматериалы функционального назначения

П.В. Морозов, А.Ю. Хныков, Е.И. Григорьев, С.А. Завьялов, В.Г. Клименко, С.Н. Чвалун  
**Структура и оптические свойства наноконпозитов поли-*l*-ксилулен – сульфид свинца, полученных полимеризацией из газовой фазы** .....50

## Наноматериалы конструкционного назначения

О.А. Агеев, О.И. Ильин, А.С. Коломыйцев, Б.Г. Коноплев, М.В. Рубашкина, В.А. Смирнов, А.А. Федотов  
**Разработка методики определения модуля Юнга вертикально ориентированных углеродных нанотрубок методом наноиндентирования** .....54

Э.Л. Дзидзигури, Д.Г. Муратов, Л.М. Земцов, Г.П. Карпачева, Е.Н. Сидорова  
**Формирование наночастиц интерметаллидов в структуре металлоуглеродного наноконпозита C-Cu-Zn** . . . .60

А.В. Галахов  
**Распределение частиц по размерам и спекание. Численный анализ** .....64

Л.Ф. Королева  
**Финишное полирование металлов с получением нанощероховатой поверхности** .....70

## Нанобиология

А.В. Годованный, Е.А. Воронцов, Н.В. Гукасова, Н.В. Позднякова, Е.А. Василенко, Н.Г. Яббаров, С.Е. Северин, Е.С. Северин, Н.В. Пнучев  
**Противоопухолевая активность наносомальных систем направленной доставки, приготовленных на основе PLGA-наночастиц, паклитаксела и рекомбинантного фрагмента альфа-фетопротейна** .....77

А.В. Ильина, А.А. Зубарева, Д.В. Курек, А.Н. Левов, В.П. Варламов  
**Наночастицы на основе сукцинилированного хитозана с доксорубицином: формирование и свойства** .....84

## НАНО краткие сообщения

### Наноструктуры, включая нанотрубки

Б.А. Гурович, К.Е. Приходько, А.Н. Талденков, А.Ю. Якубовский, К.И. Маслаков, Д.А. Комаров, Л.В. Кутузов, Г.Е. Федоров  
**Разработка ионно-пучкового метода изготовления кремниевых нанопроводов** .....90

Правила для авторов .....94

Для рекламодателей .....95



## Публикуем статьи по проектам ФЦП

Редакция «Российских нанотехнологий» обращается к руководителям проектов, поддержанных ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на период 2007-2013 годы по направлению «Индустрия наносистем». Мы будем рады опубликовать статьи с результатами, полученными в ходе выполнения ваших проектов. Статьи могут быть подготовлены как в научные рубрики, так и в деловые – «Научно-техническая политика», «Исследования и разработки».

Публикуя в нашем журнале статьи с результатами проектов ФЦП, вы убиваете двух зайцев: отчитываетесь перед заказчиком и повышаете свои ПРНД.

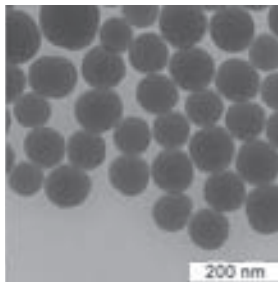
В правилах для авторов (стр. 94) вы найдете все необходимые указания для подготовки публикаций. А если остались вопросы, пишите, звоните нам: +7-495-930-88-08, sozerin@strf.ru

Редакция

## В этом номере

стр.  
24

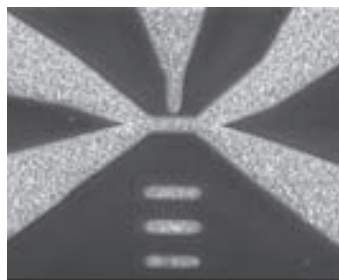
В статье В.А. Сажникова и др. синтезированы кремнеземные наночастицы типа «ядро-оболочка» с ядрами из  $\text{SiO}_2$  и с ковалентно привитым на поверхности ядер алкоксисилильным производным флуорофора дибензоилметаната дифторида бора (А-ДБМВФ2). Оказалось, что полученные наночастицы могут быть использованы в качестве основы селективных сенсорных материалов, предназначенных для детектирования паров бензола, толуола и ксилолов. При адсорбции бензола или его метилпроизводных на поверхности наночастиц происходит тушение флуоресценции А-ДБМВФ2 и разгорание флуоресценции эксиплексов А-ДБМВФ2 с аналитами. Положение изомиссионных точек в спектрах флуоресценции наночастиц специфично для каждого аналита и может быть использовано для его идентификации.



Микрофотография частиц  $\text{SiO}_2$ , полученных методом Stöber

стр.  
41

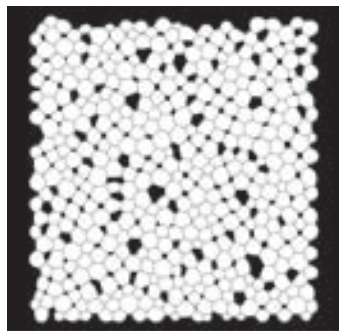
В работе Б.А. Гурович и др. исследованы электрические свойства пленок металлов, восстановленных из оксидов методом селективного удаления атомов под действием протонного облучения. Установлено, что электрические характеристики восстановленных пленок соответствуют характеристикам осажденных пленок чистых металлов. Продемонстрирована возможность создания нанопроводов в матрице оксида методом облучения через маску из ПММА. Созданы единичные нанопровода, а также пары нанопроводов из висмута. Измерены электрические характеристики как отдельных нанопроводов, так и токи утечки между близко расположенными проводниками. Показана возможность создания методом САА изолированных нанопроводов на расстоянии 70 нм.



Единичный нанопровод из висмута

стр.  
64

Распределению частиц по размерам и спеканию посвящена статья А.В. Галахова. На базе физической модели спекания был проведен численный анализ временного формоизменения модельных порошковых компактов из частиц с различной шириной распределения. При идентичности среднего размера частиц и одинаковой плотности исходных упаковок с ростом ширины распределения частиц в них растет средний размер частиц в спеченном материале и увеличивается разброс зерна по размерам. Наилучшие результаты с точки зрения производительности процесса и качества получаемого продукта продемонстрировали монодисперсные порошки. Предложенная расчетная методика может быть полезна для качественного анализа спекания порошковых компактов с вариациями других характеристик с целью оптимизации технологических параметров и качества получаемого материала.



Формоизменение упаковки частиц в процессе спекания

Первый автор

Финишному полированию металлов с получением шероховатой поверхности посвящена статья ведущего научного сотрудника лаборатории деформирования и разрушения Института машиноведения УрО РАН, д.х.н. Любови Федоровны Королевой. Автор исследования (стр. 70) предлагает новую технологию получения абразивного нанодисперсного материала на основе твердых растворов оксидов алюминия и железа для финишного полирования закаленных твердых сталей и применения для полирования мягких цветных металлов.



**В чем важность получения поверхности металла с шероховатостью Ra менее 0.005 мкм?**

Для развития прецизионного машиностроения требуется качественная обработка поверхности металлов с получением шероховатости менее 0.005 мкм, что гарантирует необходимые эксплуатационные характеристики, надежность приборов и аппаратов. Например, элементы качения в подшипниковых системах ракет должны для высокой надежности иметь шероховатую поверхность. В электронике полирование с получением шероховатой поверхности существенно определяет последующие процессы эпитаксии и нанесения различных слоев: диэлектрических, отражающих, пропускающих, проводящих. Переход от субмикронных к нанометрическим размерам топологических элементов в оптоэлектронике является необходимым этапом разработки новых приборов с применением поверхностных слоев толщиной 5–15 нм и минимальным геометрическим рельефом.

**За счет чего сокращается количество доводочных операций при использовании нанодисперсных активных абразивных металлов?**

Сокращение доводочных операций полирования с применением нанодисперсных трибохимически активных абразивных материалов на основе твердых растворов оксидов алюминия и железа с кристаллической структурой корунда и гематита происходит в результате изменения процесса полирования от чисто механического к механохимическому. Под воздействием трения в присутствии трибохимически активного абразивного материала происходит быстрое окисление поверхностного слоя с образованием оксидного слоя, который более легко разрушается и удаляется с поверхности. Одновременно идет удаление неровностей и выглаживание поверхности. Скорость и качество полирования зависят от процесса трибохимической реакции взаимодействия абразивного материала с поверхностью. Применение твердых растворов оксидов переходных металлов дает эффект химического воздействия на поверхность, поскольку эта система является неравновесной и химически активной. Абразивный материал имеет среднюю твердость по шкале твердости, поэтому в процессе полирования не наблюдается деформации поверхности, оставляющей после полирования риски, вмятины и т.д.

**В чем новизна исследования?**

Новизна работы заключается в разработке и применении абразивных нанодисперсных материалов на основе твердых растворов оксидов алюминия и железа. Данные материалы являются в процессах полирования трибохимически активными, что влияет на окислительные процессы поверхностного слоя металлов и достижение шероховатости поверхности.

**Что, по вашему мнению, самое интересное и важное в работе и почему?**

Самое интересное в работе — это создание нами технологии абразивного нанодисперсного материала на основе твердых растворов оксидов алюминия и железа для финишного полирования закаленных твердых сталей и применения для полирования мягких цветных металлов в результате модификации нанодисперсного абразивного материала на основе твердых растворов оксидов алюминия и железа. И конечно же, это достижение шероховатости поверхности менее 0.005 мкм за одну операцию, без изменения гранулометрического состава абразивного материала. При этом начальная шероховатость поверхности может составлять более 0.2 мкм.

# Инфраструктурная программа завершилась.

## Что сделано?



Игнат Соловей

6 декабря 2011 г. в Минобрнауки России состоялся круглый стол на тему «Формирование национальной нанотехнологической сети». Главный организатор круглого стола – журнал «Российские нанотехнологии» собрал представителей организаций – участников ННС, чтобы услышать их мнение об итогах реализации федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008–2011 годы» и планах на будущее.



Игнат Соловей

**Александр САВЧЕНКО**, заместитель директора Департамента приоритетных направлений науки и технологий Минобрнауки России:

– Формирование и развитие современной инновационной инфраструктуры представляется важнейшей государственной задачей, так как переход России на путь устойчивого экономического развития, на путь модерни-

зации в жестких условиях международной конкуренции возможен только при эффективной реализации ее научно-технологического потенциала и преимуществ. На это направлена, в частности, федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008–2011 годы» (далее – ФЦП РИН), утвержденная Постановлением Правительства Российской Федерации от 2 августа 2007 г. № 498.

ФЦП РИН является уникальной программой. Ее главная и единственная цель – создание в Российской Федерации современной инфраструктуры для развития и реализации потенциала отечественной nanoиндустрии. Место ФЦП РИН среди других программ определено в президентской инициативе «Стратегия развития

nanoиндустрии» (далее – Стратегия) и Программе развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года (далее – Программа), где сказано, что она должна стать одним из основных инструментов государственной политики в сфере нанотехнологий.

В рамках ФЦП РИН на первом этапе реализации Стратегии и Программы должна быть создана инфраструктура национальной нанотехнологической сети (далее – ННС). Именно в форме инфраструктуры ННС создается инфраструктура nanoиндустрии Российской Федерации, обеспечивающая концентрацию ресурсов на приоритетных направлениях исследований и разработок, повышение эффективности работ и уровень их координации, создание благоприятных условий для ускоренного введения в хозяйствен-



ный оборот конкурентоспособной продукции наноиндустрии.

В 2011 году завершается первый этап реализации Стратегии и Программы, основная цель которого – создание современной инфраструктуры ННС, обеспечивающей конкурентоспособность российского сектора исследований и разработок в области наноиндустрии. И, несмотря на определенные трудности, этот этап завершается успешно. Поставленная задача в целом решена.



Илья Соловей

**Андрей ШМАКОВ, д.ф.-м.н., ведущий советник отдела наносистем и материалов Департамента приоритетных направлений развития науки и технологий Минобрнауки России, ученый секретарь Совета ННС:**

– Я кратко напомню, в чем состоит «идеология» развития отечественной наноиндустрии. Прежде всего необходимо создать современную инфраструктуру наноиндустрии и, в частности, оснастить ведущие научно-исследовательские и образовательные организации России современным оборудованием. Современное оборудование позволит этим организациям осуществлять научно-техническую и образовательную деятельность на уровне мировых стандартов. В результате должны появиться конкурентоспособные и востребованные разработки, которые в свою очередь будут «подхвачены» и запущены в промышленное освоение такими институтами развития, как ОАО «Роснано».

Безусловно, ядром отечественной наноиндустрии является ННС, которая формируется как совокупность организаций, осуществляющих скоординированную деятельность по развитию нанотехнологий. Ключевое слово здесь «скоординированная». По состоянию на 8 июля 2011 г. участниками ННС являются 10 ведущих научно-исследовательских и 40 образовательных организаций, которые представляют 7 федеральных округов и 22 города России.

Орган управления и координации ННС – Минобрнауки России. Межотраслевую координацию деятельно-

сти ННС осуществляют: по направлению «научная деятельность» – НИЦ «Курчатовский институт», по направлению «инновационная деятельность» – ОАО «Роснано», по направлению «метрология, стандартизация и оценка соответствия» – Росстандарт, по направлению «образовательная деятельность и подготовка кадров» – НИЯУ МИФИ и Санкт-Петербургский электротехнический университет (ЛЭТИ).

Постановлением Правительства Российской Федерации утверждены 9 тематических направлений деятельности ННС: «нанобиотехнологии», «конструкционные наноматериалы», «нанотехнологии для систем безопасности», «наноэлектроника», «композитные наноматериалы», «функциональные наноматериалы для космической техники», «функциональные наноматериалы для энергетики», «наноинженерия», «функциональные наноматериалы и высококачественные вещества». По каждому направлению определены головные организации, выступающие в качестве отраслевых координаторов ННС.

Принципиально, что из 9 тематических направлений деятельности ННС пять направлений являются материало-ведческими. Таким образом, имеется вполне ясное понимание того, что именно новые материалы (в том числе наноматериалы) определяют развитие наноиндустрии в целом.

Фактически формирование инфраструктуры ННС началось еще в 2007 году, когда в рамках федеральной адресной инвестиционной программы на базе 9 российских вузов были созданы первые научно-образовательные центры по направлению «нанотехнологии» (далее – НОЦ). На эти цели из федерального бюджета было затрачено 1.45 млрд рублей. Прошло почти 4 года. Возникает вопрос: насколько эффективно эти объекты работают в настоящее время?

Результаты мониторинга за 2010 год показали следующее: количество работников на 9 упомянутых объектах – 295, количество организаций-пользователей объектов – 127, стоимость выполненных НИОКР – 431 млн рублей. Я хотел бы отметить принципиально важный момент: созданные объекты инфраструктуры реально работают (как это и задумывалось) в режиме центров коллективного пользования.

Начиная с 2008 года основным инструментом создания инфраструктуры ННС является ФЦП РИН. Общий

объем финансирования (бюджет + внебюджет) ФЦП РИН – 27.3 млрд рублей. При этом более 60 % средств направлены на формирование и развитие материально-технической базы участников ННС, а именно – на закупку, поставку и монтаж оборудования. В результате до конца 2011 года в рамках ФЦП РИН должны быть сформированы 43 объекта инфраструктуры ННС, в том числе 31 НОЦ.

Что же конкретно сделано в рамках ФЦП РИН?

В 2008 году были введены в эксплуатацию 12 НОЦ ННС. На эти цели из бюджета затрачено около 1.5 млрд рублей. Что мы получили в 2010 году? Количество работников на объектах – 467, количество организаций-пользователей объектов – 121, стоимость выполненных НИОКР – 521 млн рублей. Таким образом, только за 2010 год созданные НОЦ «оправдали» более трети бюджетных средств, затраченных на их создание.

Кроме того, в 2008 году проведена реконструкция научно-технологического центра нано- и микросистемной техники на базе МИЭТ. В 2009 году осуществлено техническое перевооружение участков по разработке технологии шликеров и катодов на базе ФГУП «ВИАМ». В 2010 году завершены основные работы на следующих объектах инфраструктуры ННС: комплекс по выпуску опытных партий функциональных и конструкционных наноматериалов и изделий на их основе для реализации ядерных технологий нового поколения (объект на базе ОАО «ВНИИИМ»), корпус высоковольтной электронной микроскопии и производственный корпус (объект на базе ИМЕТ РАН), Центр по метрологическому обеспечению и подтверждению соответствия продукции и технологий наноиндустрии (объект на базе ФГУП «ВНИИОФИ»).

В 2009 году ФЦП РИН была секвестрирована почти на 35 %. В результате не состоялось запланированное создание 10 НОЦ (четверть от общего запланированного количества НОЦ ННС). Под угрозой оказалось выполнение задач Стратегии и Программы.

В сложившейся ситуации Минобрнауки России выступило с инициативой о продлении ФЦП РИН. Эта инициатива была поддержана правительственной Комиссией по высоким технологиям и инновациям, а затем и Председателем Правительства Российской Федерации. Итогом стал выход постановления Правительства Рос-

сийской Федерации о продлении ФЦП РИН на 2011 год.

В рамках продленной ФЦП РИН в 2010 году были начаты работы по созданию 19 НОЦ ННС, а также продолжены работы по реконструкции, переоснащению и техническому перевооружению 7 объектов на базе следующих головных организаций ННС: НИЦ «Курчатовский институт», ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», ФГБНУ ТИСНУМ, ФГУП «НИИФП им. Ф.В. Лукина», ФГУП «ЦНИИХМ», ФГУП «ВИАМ» и ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша».

Проведенный Минобрнауки России мониторинг деятельности 50 организаций — участников ННС показал, что в 2010 году: общая стоимость оборудования, находящегося на балансе организаций, предназначенного для работ в сфере нанотехнологий, составила более 19.3 млрд рублей; численность исследователей в сфере нанотехнологий составила более 7.5 тыс. человек; количество патентов на изобретения в сфере нанотехнологий — 258; стоимость НИОКР, выполненных с использованием оборудования на объектах инфраструктуры ННС, превысила 4 млрд рублей.

В 2010 году объем продаж продукции наноиндустрии, произведенной организациями — участниками ННС, составил почти 1.5 млрд рублей. Много это или мало? Для сравнения: выручка всех проектных компаний ОАО «Роснано» за 2010 год составила 1.02 млрд рублей. При этом важно отметить, что НИИ и вузы, собственно говоря, не «заточены» под производство нанотехнологической продукции. Их основная задача — выполнять НИОКР и готовить кадры.

Наряду с формированием приборно-инструментальной составляющей инфраструктуры ННС в рамках ФЦП РИН реализован комплекс важных мероприятий по формированию информационно-аналитической и методической составляющих инфраструктуры ННС. При этом наиболее значимые из полученных результатов состоят в следующем: создана сеть для передачи данных между организациями — участниками ННС с опорными узлами в городах Москве, Санкт-Петербурге, Казани, Самаре, Новосибирске, Хабаровске, Екатеринбурге, Нижнем Новгороде, Белгороде, Владивостоке, Саратове, Перми, Томске, Челябинске и Ростове-на-Дону; запущен в эксплуатацию федеральный интернет-портал «Нанотехнологии и наноматериалы» ([www.portalnano.ru](http://www.portalnano.ru)); создана и пополняется база данных,

содержащая информацию об организациях, осуществляющих деятельность в сфере нанотехнологий; созданы 7 региональных и 9 отраслевых отделений Центра метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии; подготовлено и издано более 200 единиц учебно-методической литературы.

Важно отметить, что в настоящее время завершено формирование нормативно-правовой базы ННС, которая помимо Стратегии и Программы включает:

Постановление Правительства Российской Федерации от 23 апреля 2010 г. № 282 «О национальной нанотехнологической сети», которым утверждено Положение о ННС, определяющее основные термины в сфере нанотехнологий и наноиндустрии, цель, задачи, а также принципы формирования и функционирования ННС;

Приказ Минобрнауки России от 7 февраля 2011 г. № 173, которым утверждены требования к участникам ННС, критерии соответствия организаций требованиям к участникам ННС, порядок вхождения организаций в состав ННС и выхода из состава ННС, а также порядок взаимодействия организаций в составе ННС;

Приказ Минобрнауки России от 9 ноября 2011 г. № 2629, которым создан Совет ННС, а также утверждены Положение о Совете ННС и его персональный состав.

В соответствии с упомянутыми документами в настоящее время любая достойная организация имеет право и возможность стать участником ННС, войти в это элитарное научно-техническое и образовательное сообщество России.

Для чего создан Совет ННС? Предполагается, что Совет ННС станет основной совещательной площадкой, на которой будут обсуждаться наиболее важные вопросы, связанные с функционированием и развитием ННС, в том числе вопросы о вступлении в ННС новых участников.

В самый «разгар» реализации ФЦП РИН в Минобрнауки России задумывались о том, чтобы создаваемые за счет средств федерального бюджета объекты не были «приватизированы» теми предприятиями, на базе которых они созданы, а эксплуатировались в режиме центров коллективного пользования. В этой связи важно также упомянуть Приказ Минобрнауки России от 3 февраля 2009 г. № 23, которым утверждены порядок и условия предоставления в пользование объектов инфраструктуры наноиндустрии.

Отдельное внимание уделялось вопросам обеспечения безопасности наноматериалов и нанотехнологий для человека и окружающей среды. В частности, в рамках реализации мероприятий ФЦП РИН разработаны и утверждены Роспотребнадзором 27 нормативно-методических документов.

Таким образом, можно констатировать, что на первом этапе реализации Стратегии и Программы (2007—2011 годы) в Российской Федерации действительно создана современная инфраструктура наноиндустрии в виде инфраструктуры ННС, способная обеспечить конкурентоспособность российского сектора исследований и разработок в сфере нанотехнологий, а также сформирована нормативно-правовая база ННС.

На втором этапе реализации Стратегии и Программы (2012—2015 годы) необходимо обеспечить условия для эффективного функционирования и дальнейшего развития ННС, позволяющего осуществлять масштабное наращивание объема производства нанотехнологической продукции, в том числе за счет формирования отраслевых и территориальных научно-производственных кластеров, ориентированных на создание, производство и продвижение продукции наноиндустрии на рынки высоких технологий. Мы уверены, что при конструктивном взаимодействии Минобрнауки России, НИЦ «Курчатовский институт», Росстандарта, ОАО «Роснано» и головных организаций ННС, а также при адекватной поддержке Правительства Российской Федерации поставленная задача может быть успешно решена.



Игнат Соловьев

**Андрей МАЛАХОВ, старший научный сотрудник ОАО «ВИКОР»:**

— В 2011 году завершается формирование базиса, который определяет будущее отечественной наноиндустрии. В большой степени это будущее зависит от подготовки кадров. В ФЦП РИН обозначены базовые предложения по развитию кадрового потенциала, связанного с развитием наноиндустрии. В 2008—2011 годах мы решали, главным

образом, задачи по формированию кадровой информационно-аналитической системы наноиндустрии. Что удалось сделать?

В рамках ФЦП РИН системно реализованы проекты, начиная от создания учебно-методического обеспечения, самых современных учебных комплексов по тематическим направлениям деятельности ННС и заканчивая созданием систем удаленного доступа к сложному научному оборудованию.

Полученные результаты позволяют существенно повысить образовательный потенциал вузов, которые могут ориентироваться на самые передовые технологии и принципы исследования современных материалов, демонстрировать их студентам вне зависимости от наличия в вузах специального дорогостоящего оборудования. В данном случае развивается принцип мобильности, которого в значительной степени не хватает нашим вузам. Это то, что нужно закладывать для подготовки современного специалиста.

Кроме того, в рамках ФЦП РИН реализованы проекты по созданию специализированных баз данных, а также кадровой информационно-аналитической системы, позволяющей объединить ресурсы (учебно-методические, информационно-технологические и нормативно-правовые) для подготовки специалистов в сфере нанотехнологий. Наши ведущие вузы, в том числе МГУ, Санкт-Петербургский ГУ, МИСиС, МИФИ, МГТУ им. Баумана, БелГУ и др., создали учебно-методическое обеспечение, которое в свою очередь было использовано для создания современной системы маршрутного обучения. Также были изданы книги и проработаны наиболее актуальные организационно-нормативные вопросы.

Информационное обеспечение в виде баз данных и системных средств присутствует у нас в широком доступе: это комплексы в виде электронных обучающих ресурсов, а также система, обеспечивающая подготовку на базе межкафедральных и межвузовских связей (система «маршрутного обучения»). Система ориентирована на подготовку всех категорий обучаемых: бакалавры, магистры, аспиранты, преподаватели, специалисты, любые иные абоненты, которые входят/включаются в систему маршрутной подготовки на основе межвузовской кооперации. Координацию этой деятельности осуществляет сайт [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru).

Я считаю, что созданные ресурсы нуждаются в поддержке. Произошел

уникальный случай, когда в такой отрасли, как «наноиндустрия» (конечно, это межотраслевые проблемы), создана система кадровой подготовки с мощным методическим, нормативным и организационным базисом. Чтобы эта система жила дальше, ее нужно поддерживать и обновлять. В этом плане мы очень надеемся на конструктивную деятельность Совета ННС, в котором «образовательный сегмент» ННС представляют ректоры НИЯУ МИФИ и Санкт-Петербургского электротехнического университета.

#### Александр САВЧЕНКО:

– В рамках ФЦП РИН реализована уникальная система подготовки кадров для определенного сектора экономики. Подготовлены 210 единиц учебно-методической литературы и 11 учебно-методических комплексов. Образование – довольно консервативная вещь. В нашем случае созданы элементы мозаики, из которой можно создавать картины по желанию потребителя. «Обучение по маршрутам» означает, что из учебных курсов, созданных в рамках ФЦП РИН, по запросам заинтересованных потребителей можно формировать маршруты специализированной (целевой) подготовки кадров для любой отрасли из ныне действующих реальных секторов экономики, в которых используются и развиваются нанотехнологии.



Илья Соловей

#### Михаил ПОПОВ, главный ученый секретарь Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»:

– За последние три года, пожалуй, впервые в новейшей истории России создано community, сообщество людей, занятых единым делом, одинаково болеющих за него вне зависимости от того, относятся они к образовательному, научно-исследовательскому либо к административному сектору. Я бы хотел пожелать, чтобы после окончания федеральной целевой программы, на дальнейших этапах разви-

тия наноиндустрии это community не распалось, а развивалось и воспроизводилось – может быть, благодаря вовлечению молодых сотрудников, студентов и аспирантов в то, что мы называем действительно созданием мощной российской наноиндустрии. Я повторяю: это проект национального масштаба, в который вовлечено такое количество людей, одинаково серьезно переживающих за это дело. Я бы считал это основным результатом. Потому что это те люди, которые будут дальше двигать модернизацию российской экономики в данном направлении. Во-вторых, собственно для Курчатовского института реализация этой целевой программы позволила сформулировать идею создания центра конвергентных технологий, где нанотехнологии занимают одно из ключевых мест наряду с биотехнологиями (или нанобиотехнологиями), информационно-вычислительными системами и когнитивными исследованиями, которые так или иначе имеют свои корни – в том числе в спектре наук на основе нанотехнологических процессов. Это второй результат для Курчатовского института. Безусловно, мы видим здесь дальнейшее развитие и появление на карте нашей страны новых центров компетенций в этой области, где Курчатовский институт будет занимать только одно из мест – наряду с теми центрами, которые будут создаваться и в головных организациях, и в кластерах, о которых мы сегодня говорим. Это принципиальный вопрос. Третье, что касается влияния федеральной целевой программы и развития инфраструктуры наноиндустрии на наш сектор – это, безусловно, как я только что сказал, формирование научно-производственных и научно-образовательных кластеров, куда будут входить ведущие научные организации, ведущие образовательные организации и производственные структуры. В том числе созданные с помощью «Роснано», а может быть, других корпораций. Во всяком случае, у нас активно развивается кооперация в этой сфере с «Росатомом» и его структурами, с «Ростехнологиями», с тем же «Прометеем», который является подведомственной организацией Минобрнауки, и так далее. Здесь я думаю, что каждая из головных организаций уже сегодня на собственном опыте может сказать, что востребованность научных разработок, созданных и в рамках ФЦП «Исследования и разработки» по основным направлениям и в рамках

исследований, ведущихся на уникальном оборудовании, приобретенном по реализации программы ФЦП «Развитие инфраструктур наноиндустрии», растет. Она поддерживается государством. Но уже сегодня мы начинаем отмечать процессы появления инициативы среди негосударственных корпораций/частных корпораций. А именно, начинают публиковаться статьи в журнале «Российские нанотехнологии», которые относятся не к государственному сектору науки и образования, а к частному. Люди небезразлично относятся к этой инициативе. Люди участвуют в ней, спорят, думают о том, как ее развивать. И все форумы, которые проводятся под эгидой «Роснано», показывают наличие реального интереса. Появляется большое количество изданий научного, научно-популярного характера. И вообще, интерес к науке (в том числе благодаря нашей ФЦП) возрос. Начали появляться новые научные и научно-популярные журналы в сфере научной популяризации, которых раньше не было. Я бы так сказал: импакт-фактор нашей федеральной целевой программы на общество в целом — на образовательную и на научную среду — очень сильный. Я думаю, мы должны переходить либо к государственной программе развития наноиндустрии, либо к каким-то другим формам, которые позволяют созданную инфраструктуру уже использовать и в научно-исследовательском, и в производственном плане.



Илья Соловьев

**Алексей ЛУЦЕНКО, начальник управления «Подготовка научных кадров и координация НИР и НИОКР в области наноматериалов и нанотехнологий» ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ВИАМ) ГНЦ РФ:**

— Говоря о наноматериалах и нанотехнологиях, мы говорим о формировании нового (шестого) технологического уклада. Его контуры только начинают складываться в развитых странах мира, в первую очередь в США, Японии и КНР, и характеризуются наце-

ленностью на развитие и применение наукоемких, или, как теперь говорят, высоких технологий. У всех на слуху сейчас био- и нанотехнологии, генная инженерия, мембранные и квантовые технологии, фотоника, микромеханика, термоядерная энергетика — синтез достижений на этих направлениях должен привести к созданию, например, квантового компьютера, искусственного интеллекта и в конечном счете обеспечить выход на принципиально новый уровень в системах управления государством, обществом, экономикой.

Специалисты по прогнозам считают, что при сохранении нынешних темпов технико-экономического развития, шестой технологический уклад начнет оформляться в 2010–2020 годах, а в фазу зрелости вступит в 2040-е годы. При этом в 2020–2025 годах произойдет новая научно-техническая и технологическая революция, основой которой станут разработки, синтезирующие достижения названных выше базовых направлений. Для подобных прогнозов есть основания. В США, например, доля производительных сил пятого технологического уклада составляет 60 %, четвертого — 20 %. И около 5 % уже приходится на шестой технологический уклад.

ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ занимает ключевое место в формировании и развитии наноиндустрии в России. ВИАМ является головной организацией ННС по тематическому направлению «композитные наноматериалы». На данный момент можно признать, что фактически создана большая часть необходимой нормативно-правовой базы для развития и дальнейшего становления ННС. Сейчас у нас сформирован конкурентоспособный сектор исследований и разработок в области наноиндустрии и эффективная система коммерциализации объектов интеллектуальной собственности в сфере нанотехнологий. Дальнейший механизм развития наноиндустрии в части научно-исследовательского и производственного секторов не определен, но для исполнения столь амбициозных задач для развития необходимо развивать институт головных организаций ННС. Существует координационная Программа развития наноиндустрии до 2015. Однако в ней определены цели, но не определены механизмы реализации ее мероприятий. Головные организации ННС проводили согласительные совещания по поводу дальнейшего развития ННС и наноинду-

стрии в рамках экспертного Совета при головной научной организации. С учетом созданных нормативно-правовых документов ННС создана и успешно функционирует инфраструктура головных организаций: отделения Центра метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии, аккредитованные в системе ГОСТ Р. Созданы методики измерения, стандартные образцы отраслевого класса, государственные стандартные образцы в области наноматериалов и нанотехнологий. Были получены межгосударственные стандартные образцы, в результате международного сличения. При этом программа фактически была секвестирована почти на 35 % в 2009 году. Это коснулось в общем-то всех — и не только НОЦ, но и головных организаций тоже. Нужно отметить, что головные организации и участники нанотехнологической сети не останавливались на этом, вкладывали собственные средства на поддержание и функционирование этой базы. От этого есть эффект. Также помимо инфраструктурной и методической части в рамках ФЦП «РИН» существует Программа стандартизации в наноиндустрии на 2010–2014 гг., которая направлена на реализацию продукции наноиндустрии. Основа дальнейшего развития — это выпуск продукции наноиндустрии и коммерциализация результатов научно-исследовательской деятельности. Данная деятельность в принципе невозможна без нормативно-правовой базы и системы стандартизации. ВИАМ является головным разработчиком по направлению «композитные наноматериалы» и создал 5 стандартов типа ГОСТ Р. Это дает возможность выпускать продукцию на созданных мощностях в рамках ФЦП «РИН». Программа стандартизации является очень хорошим шагом для начала пути реализации второго этапа президентской инициативы «Стратегия развития наноиндустрии».

Заканчивая свое выступление, могу с уверенностью сказать, что успешное развитие наноиндустрии и ННС в целом во многом зависит от формирования и поддержания института головных организаций, а также формирования концепции государственной программы «Развитие наноиндустрии в Российской Федерации до 2020 г. и на перспективу до 2025 года».

*Подготовила Татьяна Пичугина  
Продолжение в № 3-4 2012 г.*

# Федеральный интернет-портал «Нанотехнологии и наноматериалы» как основной компонент информационно-аналитической системы развития наноиндустрии

*А.Н. Тихонов,  
А.К. Скуратов,  
Е.В. Захаревич*

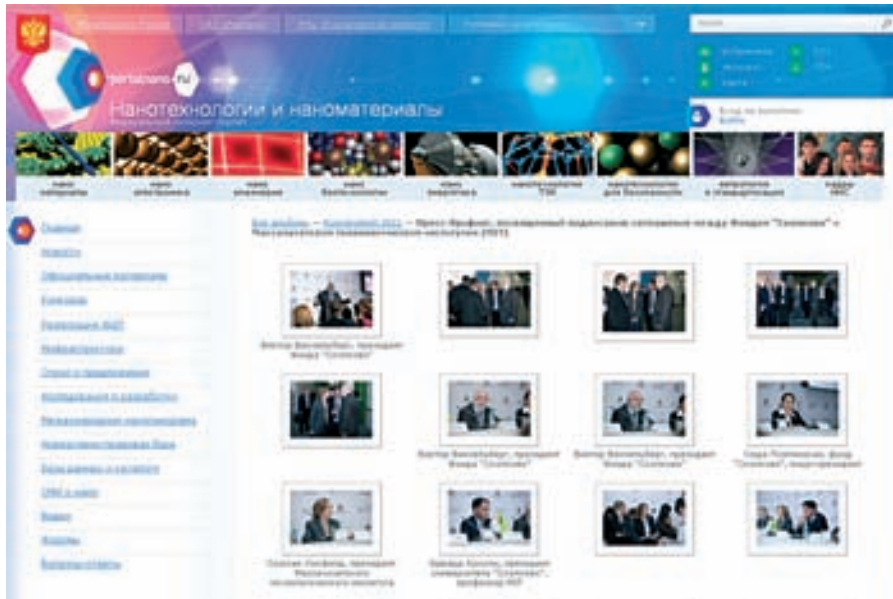
*Федеральное  
государственное  
учреждение  
«Государственный  
научно-  
исследовательский  
институт  
информационных  
технологий  
и телекоммуникаций»,  
125009, Москва,  
Брюсов пер., 21/2  
E-mail: skuratov@  
informika.ru*



**Рисунок 1.** Главная страница федерального интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы»

Несмотря на большое количество интернет-ресурсов, освещающих различные аспекты наноиндустрии, необходимость создания универсального портала, посвященного развитию нанотехнологий в России, ощущалась давно. Запущенный в конце 2008 года федеральный интернет-портал «Нанотехнологии и наноматериалы» (<http://www.portalnano.ru>) обеспечивает информационную поддержку формирования информационно-аналитической системы инфраструктуры наноиндустрии (ИАС РН) в рамках Федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2011 годы», Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы», Программы развития наноиндустрии до 2015 года и других мероприятий, организуемых Министерством образования и науки РФ в данной сфере. Разработчик портала – Федеральное государственное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт информационных технологий и телекоммуникаций» (ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика»).

Одна из главных целей данного ресурса – консолидация и систематизация информации о развитии наноиндустрии, передовых научных исследованиях и разработках в области нанотехнологий в России. Создание федерального интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы» (рис. 1) позволило сформировать целостную картину проводимых в нашей стране



**Рисунок 2.** Фотогалерея федерального интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы»

исследований и достигнутых результатов, а также корректно отразить государственную политику РФ в сфере развития нанотехнологий. Помимо этого данный интернет-ресурс способствует решению образовательных, научных, инженерных и производственных задач в сфере наноиндустрии и содействует ускорению коммерциализации научно-исследовательских разработок. Сегодня федеральный интернет-портал является неотъемлемой частью

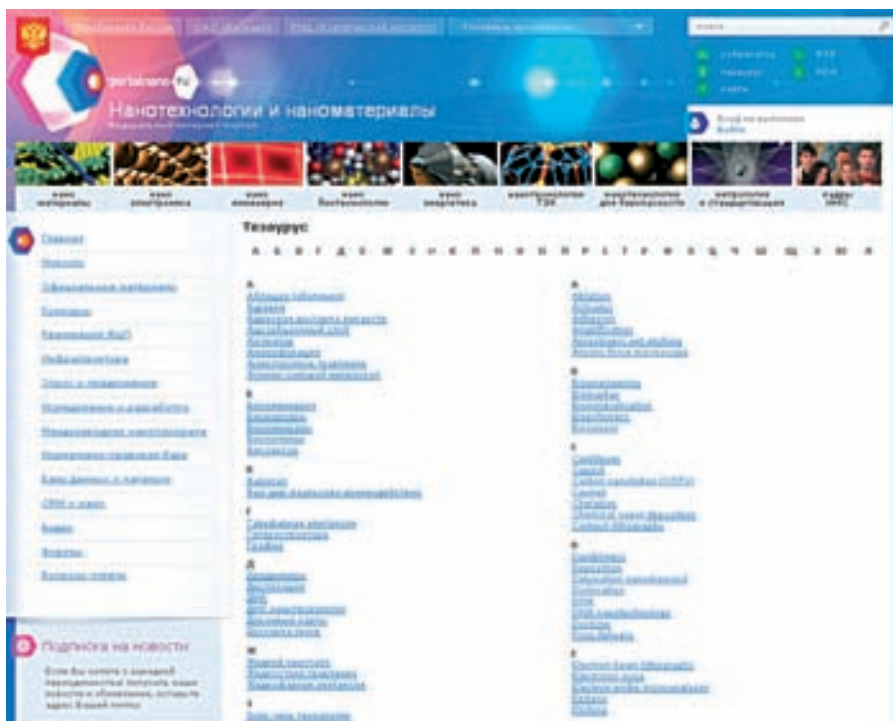
Национальной нанотехнологической сети (ННС). Его аудиторию составляют представители образовательного, научного и бизнес-сообществ, профессора и преподаватели учебных заведений, студенты и аспиранты, научные сотрудники, административно-управленческий персонал образовательных и научных организаций и коммерческих структур, сотрудники органов государственного управления и кадровых служб. Портал стал заметным и популярным интернет-

ресурсом в области развития нанотехнологий и создания наноматериалов. Он представляет собой единую информационно-аналитическую платформу, которая позволяет всем – исследователям, инженерам и простым людям, интересующимся нанотематикой, получить необходимую научную, инженерно-техническую, популярную информацию о том, как развиваются нанотехнологии в нашей стране и за рубежом.

На текущий момент на портале «Нанотехнологии и наноматериалы» (рис. 2) размещено более восьми тысяч тематических статей, две с лишним тысячи иллюстративных материалов, сведений об организаторах и исполнителях проектов в области наноиндустрии, об основных результатах, достигнутых в ходе реализации проектов по нанотематике, о возможностях международного сотрудничества ученых России и ЕС, обзоры СМИ о нано. Существует специальный раздел, посвященный подготовке кадров для наноиндустрии, содержащий сведения об инфраструктуре системы подготовки подобных специалистов, нормативно-правовые и руководящие документы – стандарты и специальности, методические указания, учебные программы. Материалы портала представлены не только на русском, но и на английском, немецком, испанских языках. Ежедневно к ресурсу обращаются более четырех тысяч человек из 50 стран мира.

Важной технической особенностью портала «Нанотехнологии и наноматериалы» является способ его организации: ресурс представляет собой сложный программно-аппаратный комплекс, параллельно соединенный с двумя контурами. Во-первых, с сетью Интернет, благодаря чему любой человек из любой точки земного шара может получить доступ к открытой информации, размещенной на портале. Второй контур, очерченный границами ННС, – это закрытая информация, доступ к которой получают только участники Национальной нанотехнологической сети.

Для данного портала была разработана оригинальная навигационная система, которая позволяет ориентироваться не только в научных материалах, но и в перечне научно-исследовательских коллективов и организаций, министерств и ведомств. Благодаря этому пользователь может получить более полную информацию, аккумулируемую в ходе научно-исследовательских работ. К другим технологическим особенностям функционирования портала относятся: открытый код, устойчивая работа в любых типах браузеров, интуитивно понятный интерфейс, а также



**Рисунок 3.** Тезаурус на федеральном интернет-портале «Нанотехнологии и наноматериалы»



Рисунок 4. Тезаурус на федеральном интернет-портале «Нанотехнологии и наноматериалы»

ляет быстро ориентироваться в выборе необходимой информации. Например, воспользовавшись ссылками в блоке с инфраструктурой направления, посетитель портала может получить сведения о головной и профильных организациях, персоналиях и ходе подготовки кадров для данного направления. Блок «Исследования и разработки» поможет ознакомиться с тематикой научных работ, используемым инструментарием, продукцией и патентами. Здесь же доступны релевантные ключевые понятия, тематические статьи и фотогалерея.

Для оптимизации работы пользователей с информацией, представленной на страницах федерального интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы», разработчиками был создан специальный тезаурус предметной области нанотехнологий и наноматериалов (рис. 3, 4). Словарные статьи тезауруса снабжены не только иллюстративным материалом, позволяющим наглядно увидеть определяемые понятия, но и ссылками на встроенный словарь устоявшихся международных англоязычных терминов и их определений. Благодаря рубриктору и тезаурусу, размещенным на федеральном интернет-портале, в нанотехнологической сфере легко могут ориентироваться даже самые неискушенные пользователи ресурса, что должно подтолкнуть их к дальнейшему изучению данной научной области (рис. 5).

Запуск федерального интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы» открыл новые возможности перед российскими учеными: данный ресурс стал для них своеобразной точкой экспресс-обмена информацией. Для этих целей на портале был создан премоделируемый форум. Кроме того, у отечественных исследователей появилась возможность получить доступ к полнотекстовым публикациям на тему нанотехнологий, которые выходят в европейских реферируемых журналах: эта опция сайта реализована силами сотрудников Всероссийского института научной и технической информации РАН.

В конце нынешнего года будут подведены итоги работ в рамках ФЦП «Развитие инфраструктуры нанопромышленности в Российской Федерации на 2008–2011 годы», информация о них будет размещена на ИАС РН и страницах портала «Нанотехнологии и наноматериалы». Работы по постоянному совершенствованию наполнения и обеспечению круглосуточной технической поддержки федерального портала на этом не закончатся и будут продолжены специалистами ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика».

модульная структура, которая позволяет непрерывно обновлять материалы и расширять список доступных опций.

Вся информация, представленная на страницах федерального интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы», строго систематизирована, что приводит к существенной экономии времени, сил и средств — как при сопровождении, так и при использовании портала. Рубриктор, разработанный специально для этого ресурса, не

имеет аналогов среди мировых классификационных систем. Он сочетает в себе три вида навигации: по ведущим организациям и ведомствам отрасли, по сервисам портала и по его тематической структуре. Отдельные подпункты меню посвящены научным, технологическим, отраслевым, географическим, инфраструктурным вопросам и типам существующих в этой области документов. Содержание всех страниц портала объединено в визуальные блоки, что позво-



Рисунок 5. Рубрика «Результаты реализации ФЦП: исполнители о проектах»

# Образование в сфере нанотехнологий: опыт Вятского государственного гуманитарного университета

Д.Н. Данилов<sup>1</sup>, Е.Н. Кочергина<sup>1</sup>,  
Ю.В. Семенов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Вятский государственный гуманитарный университет, 610002, г. Киров, ул. Красноармейская, 26,

<sup>2</sup>Институт развития образования Кировской области, 610046, г. Киров, ул. Р. Ердякова, 23/2,  
E-mail: denisdanilov@rambler.ru



**Рисунок 1.** Участники выставки НТТМ-2011 В.И. Жаворонков и Р.В. Селезнев представляют работы, выполненные в НИЛ нанохимии и нанотехнологии ВятГУ

По приближенным оценкам, в ближайшее десятилетие кадровые потребности мировой наноотрасли составят не менее 2 млн специалистов, а потребность России в нанотехнологах составит не менее 30 тыс. человек ежегодно [1]. Естественно, их надо готовить на всех образовательных уровнях: от школы до вуза. «Стратегия развития наноиндустрии» [2] предъявляет новые требования к системе образования в сфере нанотехнологий: «Образование в XXI веке должно стать по-настоящему доступным и непрерывным. Междисциплинарный подход будет постепенно приходить на смену отраслевому, что сформирует условия для подготовки специалистов с системным мышлением — лидеров, способных воспринимать нанотехнику как сплав индустрии, науки, экономики и духовной организации общества».

Развитие нанотехнологий непрерывно влияет на наше общество. Даже рядовой потребитель все чаще сталкивается со сложными устройствами, высокотехно-

логичным оборудованием, разнообразными гаджетами. Существует опасность того, что устройства и приборы, созданные на основе нанотехнологий, превратятся для обычного человека в «черный ящик», нечто непознаваемое и дорогое. Это увеличивает техногенные риски и зависимость человека от техносферы. Кроме того, недобросовестные продавцы могут использовать приставку «нано» для значительного увеличения цены товара, пользуясь безграмотностью потребителя. Поэтому знание основ нанотехнологии пригодится каждому человеку, будь он техником или гуманитарием.

Широкое внедрение образования в сфере нанотехнологий затрудняется рядом причин [3]. Во-первых, нанотехнологии — это комплексная мультидисциплинарная наука, требующая хороших базовых знаний по физике, математике, химии, биологии. Во-вторых, для обучения основам нанотехнологии требуются подготовленные специалисты: преподаватели и учителя, владею-

щие современным материалом и методикой ее преподавания. В-третьих, обеспеченность учебной и учебно-методической литературой по нанотехнологии оставляет желать лучшего. До настоящего времени отсутствует комплект школьного учебника по нанотехнологии для ученика и учебно-методических пособий для учителя.

В-четвертых, проведение наглядного эксперимента по нанотехнологии требует дорогостоящего оборудования, которое вуз или школа способна приобрести только при активной государственной поддержке. Например, сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) NanoEducator, выпускаемый российской фирмой НТ-МДТ и являющийся базовым образовательным прибором в области нанотехнологий, стоит около 1 млн рублей. СЗМ, позволяющие достигать атомного разрешения, быстро и эффективно определять рельеф поверхности твердых тел, нанопорошков, биологических объектов, стоят на порядок дороже.

Таким образом, образование в сфере нанотехнологий — это сложный и дорогостоящий процесс, легкодоступный лишь членам Национальной нанотехнологической сети. Что же делать остальным членам образовательного сообщества России?

Выход из сложившейся ситуации заключается, на наш взгляд, в создании системы государственной поддержки вузов и школ в области нанотехнологий, системы переподготовки учителей и преподавателей, открытии базовых образовательных площадок по нанотехнологии в ведущих школьных учебных заведениях, активном взаимодействии школ и вузов, проводящих научные исследования в этой области.

Так, в Кировской области складывается система взаимодействия Вятского государственного гуманитарного университета (химический факультет, научно-исследовательская лаборатория нанохимии и нанотехнологии), Института развития образования Кировской области (переподготовка учителей естественнонаучного цикла), лицея г. Советска (базовая образовательная пло-





Рисунок 2. Консультации учителей в ходе повышения их квалификации проводит Д.Н. Данилов

шадка для переподготовки учителей и организации научно-исследовательской работы школьников) и муниципального образовательного автономного учреждения дополнительного образования детей «Центр детского творчества с изучением прикладной экономики» города Кирова. Цель такого взаимодействия — создание единого образовательного пространства в области нанотехнологии, стимулирование школьников и студентов Кировской области к нанотехнологическим исследованиям, просвещение в области нанотехнологии.

### ГУМАНИТАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КАК РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПРОСВЕЩЕНИЯ И КУЛЬТУРЫ В СФЕРЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Вятский государственный гуманитарный университет (ВятГУ) представляет собой один из крупнейших научно-образовательных центров Кировской области. Это старейший вуз нашего региона (основан в 1914 г.), успешно сочетающий как классические традиции, так и инновационные направления в образовании. Накопленный многими поколениями преподавателей, ученых ВятГУ научно-педагогический опыт позволяет успешно решать многие задачи, в том числе развитие образования в сфере нанотехнологий.

В 2008 г. ВятГУ совместно с лицеем естественных наук г. Кирова вошел в число победителей конкурса «Поставка и ввод в эксплуатацию учебных лабораторий по нанотехнологии для кабин-

тов физики, химии и биологии общеобразовательных учреждений профильных вузов» в рамках ФЦП развития образования на 2006–2010 г. Комплект полученного оборудования, включающий 3 сканирующих зондовых микроскопа NanoEducator, стал основой лаборатории нанотехнологии, которая в 2010 г. получила статус научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) (рис. 1).

НИЛ нанохимии и нанотехнологии ВятГУ работает в двух направлениях: научно-исследовательская и образовательно-просветительская работа. Область научных интересов специалистов лаборатории связана с разработкой новых наноматериалов (в том числе квантовых точек на основе соединений германия), исследованием влияния и электрохимического осаждения на размер наночастиц и оптические свойства наноматериалов, изучением фрактальных характеристик наноструктур.

Лаборатория занимается мониторингом и исследованием качества нанопродукции, доступной в г. Кирове. На базе лаборатории нанотехнологии совместно с научно-исследовательской экоаналитической лабораторией проводятся экологические исследования по определению острой и хронической токсичности наночастиц с использованием 5 тест-объектов. Совместно с НИЛ функциональной электроники проводятся исследования по изучению морфологии и оптических свойств (флуоресценции) цианобактерий — биотестобъектов,

чувствительных к тяжелым металлам, содержащимся в сточных водах гальванических цехов многих промышленных предприятий города Кирова.

К научным исследованиям активно привлекаются студенты химического факультета ВятГУ в рамках выполнения курсовых и дипломных работ. Так, в 2010–2011 учебном году на базе НИЛ нанохимии и нанотехнологии было выполнено 4 дипломных и 10 курсовых работ. С 2009 г. на базе лаборатории работает студенческий научный кружок по нанотехнологии. Благодаря сотрудничеству ВятГУ с другими вузами г. Кирова студенты и специалисты лаборатории имеют доступ ко многим современным методам анализа, в том числе к сканирующей электронной микроскопии, ИК-микроскопии, спектрофлуориметрии и т.д. В 2011 г. ВятГУ поддержал работу НИЛ нанохимии и нанотехнологии внутренним грантом «Получение квантовых точек на основе соединений германия» в размере 150 тыс. рублей.

На базе НИЛ нанохимии и нанотехнологии осуществляются занятия по учебной дисциплине «Основы нанохимии» для студентов IV курса специальности 020101.65 Химия. В связи с переходом на федеральный государственный стандарт образования III поколения с 2012 г. занятия по учебной дисциплине «Нанохимия и нанотехнология» будут проводиться со студентами специальности 020201.65 Фундаментальная и прикладная химия и бакалаврами специальности 020100.62 Химия. На лабораторных занятиях студенты знакомятся с работой СЗМ NanoEducator и проводят работы по исследованию морфологии металлов, микроорганизмов (цианобактерий), углеродных наноматериалов.

### ОРГАНИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ОТ ШКОЛЫ ДО ВУЗА

Наилучшие результаты в образовании могут быть достигнуты только в единой образовательной среде, при непрерывном взаимодействии всех участников образовательного пространства региона. В Кировской области примером такого взаимодействия является совместная работа высшей школы, средней школы, дополнительного образования и центра повышения квалификации и переподготовки учителей.

Вятский государственный гуманитарный университет предоставляет возможность заинтересованным студентам и школьникам познакомиться с современным оборудованием в области нанотехнологии, литературой по нанотехнологии. Специалисты химического факуль-



**Рисунок 3.** Воспитанники Центра дополнительного образования (3 класс) на экскурсии в НИЛ нанохимии и нанотехнологии ВятГГУ

тета и факультета технологии и дизайна, работающие в НИЛ нанохимии и нанотехнологии, являются научными руководителями студенческих и школьных проектов и исследовательских работ.

Институт развития образования (ИРО) является инициатором введения элементов нанотехнологии в процесс повышения квалификации учителей естественнонаучного направления (рис. 2). Руководителем лаборатории «Экология» ИРО Ю.В. Семеновым разработана соответствующая программа повышения квалификации учителей [4], реализуемая на базе лицея г. Советска Кировской области с 2011 г. Лицей г. Советска также имеет учебный класс по нанотехнологии на основе СЗМ NanoEducator и является не только региональной базой для переподготовки учителей, но и образовательной площадкой для организации научно-исследовательской работы школьников 9–11 классов.

Учащиеся лицея исследуют возможности биоиндикации наноразмерных сред методом сканирующей зондовой микроскопии. Для них специалистами ВятГГУ проводятся научно-образовательные семинары по вопросам нанотехнологии и текущие консультации.

Специалистом Центра детского творчества с изучением прикладной экономики г. Кирова (ЦДТсИПЭ) Е.Н. Кочергиной разработана программа дополнительного образования детей по основам нанотехнологий для школьников 3–6-го классов. В первый год обу-

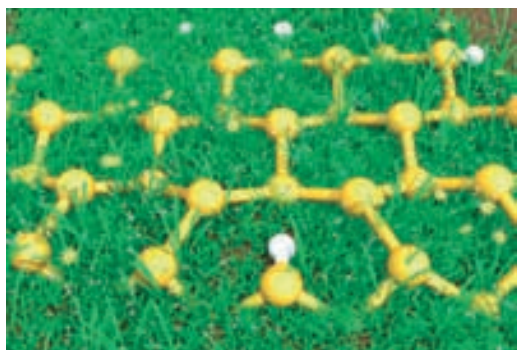
чения воспитанники 3–4-х классов знакомятся с историей развития нанотехнологий, характерными особенностями наномира, наиболее яркими примерами нанотехнологических разработок. В течение второго года воспитанники 5–6-х классов рассматривают вопросы, связанные с применением нанотехнологии в области робототехники, биометрики, информационных технологий. В ходе практических занятий в лаборатории нанохимии и нанотехнологии учащиеся знакомятся с методами нанолитографии, сканирующей зондовой и оптической микроскопии (рис. 3).

В рамках реализации обозначенной программы мы столкнулись с несколькими серьезными проблемами. Во-первых, полное отсутствие административной и финансовой поддержки на уровне региона. Складывающаяся в Кировской области система образования в сфере нанотехнологий — дело рук энтузиастов. Во-вторых, настороженное отношение к образованию в сфере нанотехнологий со стороны многих учителей и даже преподавателей высшей школы, особенно пожилого возраста, что очень похоже на процесс информатизации образования начала двухтысячных. В-третьих, необходимость расширения и обновления материальной базы для преподавания основ нанотехнологии, например, приобретение СЗМ NanoEducator II поколения с атомарным разрешением.

Описанная нами региональная образовательная система может стать примером для других регионов, а в случае финансирования — одной из образовательных моделей обучения современных технологий.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Шишов С.Е. Формирование кадрового потенциала для высокотехнологичной экономики // Нанотехнологии. Экология. Производство. 2009. № 2. С. 66.
2. Президентская инициатива «Стратегия развития nanoиндустрии» (Поручение Президента Российской Федерации от 24.04.2007. № Пр-688).
3. Жабров В.А., Марголин В.И. Проблемы nanoобразования как зеркало общих проблем высшего образования России // Нанотехнологии. Экология. Производство. 2009. № 2. С. 70.
4. Семенов Ю.В. Методическая подготовка учителей в области основ нанотехнологии // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета. 2010. № 3 (3). С. 60.



# российский электронный НАНОЖУРНАЛ

»nanorf.ru

новости аналитика карьера

# Итоговая конференция по результатам выполнения мероприятий ФЦП



В НИЦ «Курчатовский институт» прошла итоговая конференция по результатам выполнения мероприятий ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2011 годы».

В ней приняли участие представители Минобрнауки – государственного заказчика-координатора программы, головных организаций по направлениям развития наноиндустрии, а также организаций – участников Национальной нанотехнологической сети (ННС).

Открывая конференцию, первый заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт» Э.Ф. Лобанович отметил уникальность и важность ФЦП, главная цель которой – создание в России современной инфраструктуры для развития и реализации потенциала отечественной наноиндустрии. «Благодаря созданной в ходе реализации Программы системе управления и финансирования наши научные и образовательные организации получили возможность совершить прорывы в науке, которые ранее казались невозможными», – подчеркнул он. Например, в Курчатовском институте, по словам Лобановича, в процессе выполнения Программы развернулось новое научное направление, основанное на конвергенции нано-, био-, информационных и когнитивных наук и технологий.

В своем выступлении ведущий советник Департамента приоритетных направлений науки и технологий Минобрнауки РФ А.А. Шмаков напомнил участникам конференции основные моменты создания ННС в рамках ФЦП, а также подвел некоторые итоги деятельности.

«Можно уверенно сказать: сегодня инфраструктура наноиндустрии создана

и эффективно функционирует», – отметил он. – В настоящее время в состав ННС входят 50 организаций – 10 научно-исследовательских институтов и 40 ведущих университетов России. Создана нормативно-правовая база ННС, система государственного учета нанотехнологической продукции».

О.Д. Анашина, начальник отдела наносистем и материалов Департамента приоритетных направлений и технологий Минобрнауки, рассказала о деятельности министерства по формированию ННС. Также она сообщила, что в ноябре 2011 года был утвержден Совет ННС, куда вошли представители всех заинтересованных организаций – всего более 30 человек. «Надеемся, что при конструктивном взаимодействии Минобрнауки, НИЦ “Курчатовский институт”, ОАО “Роснано” и головных организаций будет решена задача по дальнейшему развитию Национальной нанотехнологической сети в целях создания производства и продвижения продуктов наноиндустрии на рынок высоких технологий», – подчеркнула она.

Большая часть бюджета Программы была потрачена на закупку современного



О.Д. Анашина рассказывает о деятельности министерства по формированию ННС

оборудования для институтов и вузов. По оценкам Минобрнауки, в 2010 году НОЦ на новой технологической базе заработали сумму, равную 33 % от того, что было потрачено на них из бюджета Программы.

Заместитель директора – главный ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт» М.В. Попов в своем выступлении рассказал о деятельности Курчатовского института в рамках ФЦП, как головной научной организации по реализации правительственной программы координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов. «НИЦ “Курчатовский институт” сформировал систему взаимодействия организаций и экспертов в рамках ННС, а также создал регулярно пополняемую базу данных предприятий, научных и учебных заведений, деятельность которых связана с нанотехнологиями», – сообщил он. – Одна из основных задач головной организации – научная координация – заключалась в определении наиболее значимых структурных подразделений нашей ННС и так называемых точек роста. Это важно для понимания того, какие ниши мы можем в первую очередь занять, чтобы обеспечить конкурентоспособность российского сектора исследований и разработок в сфере нанотехнологий на мировом рынке».

Участники конференции подвели общие итоги реализации Программы и обсудили перспективы развития нанотехнологий в России.

В рамках конференции работали секции по следующим направлениям: развитие приборно-инструментальной составляющей инфраструктуры наноиндустрии, развитие информационно-аналитической составляющей наноиндустрии, развитие методической составляющей наноиндустрии.

Участники конференции постановили: для успешной реализации задач второго этапа президентской инициативы «Стратегия развития наноиндустрии» и Программы развития наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года необходимо продолжить начатую работу. В частности, Минобрнауки во взаимодействии с НИЦ «Курчатовский институт» и головными организациями разработает концепцию развития Национальной нанотехнологической сети на 2012–2015 годы и план мероприятий по ее реализации.

*Пресс-служба  
Курчатовского института*

# VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны, электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-, био-, инфо-, когнитивные технологии»



В НИЦ «Курчатовский институт» с 14 по 19 ноября 2011 г. прошла VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны, электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-, био-, инфо-, когнитивные технологии» (РСНЭ-НБИК – 2011)

Сегодня это один из крупнейших и представительных научных форумов в России, который проходит каждые два года на базе Института кристаллографии имени А.В. Шубникова РАН и НИЦ «Курчатовский институт». Несмотря на то что конференция РСНЭ-НБИК имеет статус национальной, она традиционно открыта для участия иностранных специалистов. Около полутора тысяч ученых из 180 научных организаций мира (в том числе из 145 российских) представили свои доклады

на этот масштабный форум. Более 500 человек зарегистрировались в качестве участников конференции. Это ученые из научных центров из 38 городов России и 10 стран, в первую очередь СНГ. Всего участниками было представлено 14 пленарных докладов, 160 устных и 351 стендовый.

В последние годы в тематике конференции получили значительное развитие междисциплинарные подходы в исследованиях наносистем и материалов с использованием рентгеновского,

синхротронного излучения, нейтронов и электронов. Тематика конференции РСНЭ-НБИК – 2011 ярко отражает тенденции современного научного развития. Прежде всего речь идет о конвергенции нано-, био-, информационных и когнитивных наук и технологий (НБИК). Поэтому аббревиатура НБИК уже второй раз присутствует в названии конференции. Принцип конвергенции различных областей знаний сегодня реализуется в уникальном Курчатовском центре нано-, био-, инфо-, когнитивных наук и технологий (НБИК-центр), где перед учеными поставлена амбициозная задача – соединить достижения микроэлектроники как технологической системы с нашими знаниями и пониманием объектов живой природы, создать гибридные приборы, технологически воспроизвести живую систему на основе биоорганического материала.

В первый день работы конференции ее участники ознакомились с работой различных научных комплексов и лабораторий НБИК-центра: в частности, посетили синхротронно-нейтронный научно-технологический комплекс, научно-технологический комплекс нанoeлектроники и гибридных технологий, научно-технологический комплекс молекулярной визуализации, а также осмотрели термоядерную установку токамак Т-15. В настоящее время Курчатовский институт – единственный в России научный центр, где можно воочию увидеть процесс практического развития конвергентных наук и технологий.

Выступая на пленарном заседании, председатель оргкомитета конференции Михаил Ковальчук отметил значимость междисциплинарной кристаллографической науки для современного научного развития. «Благодаря тому, что у нас есть такая опора внутри страны – сформированное, развитое научное сообщество, включая талантливую молодежь, мы можем успешно встраиваться в международное научное пространство. И не просто встраиваться – за последние годы уже создана модель нашего равноправного сотрудничества с крупными научными державами», – подчеркнул Ковальчук.

Один из основных факторов, объединяющих научное сообщество, – работа на уникальных мегаустановках, которые являются основными инструментами в проведении исследований в области нанотехнологий, материаловедения, кристаллографии и т.д. Это прежде всего источники синхротронного излучения. Благодаря своим уникальным свойствам синхротронное излучение стало мощным исследовательским



Михаил Ковальчук:  
«За последние годы  
создана модель  
нашего равноправного  
сотрудничества с  
крупными научными  
державами»

инструментом и технологией. Одна из подобных мегаустановок в нашей стране — Курчатовский источник синхротронного излучения (КИСИ). Первый и до сих пор единственный на постсоветском пространстве, он является центром коллективного пользования, на его станциях работают как исследователи из Курчатовского института, так и ученые из других научных организаций. Кроме того, на территории Курчатовского института расположен исследовательский нейтронный реактор ИР-8. КИСИ и источник нейтронов ИР-8 стали основой для формирования Курчатовского НБИК-центра.

О том, как изменились подходы и методы в исследованиях наносистем и материалов, рассказал в пленарном докладе «Конвергенция наук и технологий — от «неживого» к «живому» Михаил Ковальчук. «Рентгеновское излучение дало возможность увидеть трехмерное изображение окружающего мира и создать современное материаловедение, далее мы двигались в мир элементарных частиц, физики высоких энергий, ускорителей... — напомнил он. — По сути, это направление в основном и определило лицо цивилизации ушедшего XX века, где анализ был основным вектором научного развития». Но с момента открытия рентгеновской дифракции, по мнению ученого, начала формироваться другая линия — синтез, «когда мы перешли к созданию искусственных материалов, в частности, не существующих в природе».

Но необходимо двигаться в познании дальше. В настоящее время мы можем фиксировать с помощью рентгеновского излучения (в первую оче-

редь синхротронного) положение атома в пространстве с субангстремным разрешением.

«Но следующая задача — увидеть процесс движения атомов во времени, — подчеркнул Ковальчук. — Сегодня для этого нам необходимо иметь синхротронное излучение, позволяющее фиксировать положение атомов с высоким временным разрешением, сравнимым, например, с временем протекания химических реакций. То есть необходимо синхротронное излучение, состоящее из импульсов большой яркости и имеющих фемтосекундную длительность. Такими свойствами излучения будет обладать рентгеновский лазер на свободных электронах (XFEL) и синхротронный источник четвертого поколения. С их помощью можно будет изучать любые процессы во времени, которые предшествовали возникновению изучаемых нами сегодня структур. Приоритеты исследований смещаются от упорядоченных материалов (например, кристаллы) к неупорядоченным — биоорганические и композиционные материалы, керамика и другие. В этих системах основным инструментом исследований наряду с дифракцией рентгеновских лучей становится их рассеяние, в первую очередь малоугловое».

Уникальные возможности даст ученым мегаустановка нового поколения — европейский лазер на свободных электронах (XFEL), который строится в Гамбурге (Германия). Этот международный проект нацелен на создание принципиально новых исследовательских возможностей и позволит выйти на новый уровень в исследованиях в области физики, химии, материаловедения,

наук о жизни, биомедицине. Он позволит изучать процессы, происходящие в веществе, в предельно короткие — фемтосекундные промежутки времени.

В проекте XFEL Россия и Германия играют ведущие роли. Как напомнил Ковальчук, Россия — равноправный участник и других крупных международных проектов — Большой адронный коллайдер в CERN, термоядерный реактор ITER, который строится во Франции, ускоритель тяжелых ионов FAIR в Дармштадте. В каждом из них задействован потенциал первой в стране национальной лаборатории — НИЦ «Курчатовский институт».

Кроме того, в настоящее время руководители крупнейших ядерно-физических научных центров мира договариваются о консолидации усилий по созданию новейшей мегаустановки — источника синхротронного излучения четвертого поколения на территории России. Также в 2009 году запущен совместный российско-итальянский проект токамака с высокой плотностью плазмы (проект IGNITOR), который будет реализовываться со стороны России Росатомом и Курчатовским институтом. Исследования на подобных мегаустановках позволят совершить прорывы в науке, которые Михаил Ковальчук назвал революционными.

Продолжил научную программу пленарного заседания председатель совета РФФИ В.Я. Панченко, он также отметил высокую значимость участия России в глобальных международных научных проектах. Особое значение Совет фонда придает участию в них молодых ученых, подчеркнул Панченко. Академик В.Я. Панченко выступил с докладом, посвященным лазерно-информационным технологиям в биомедицине.

Специальный доклад на пленарном заседании был посвящен малоугловому рассеянию. Его представил руководитель группы Европейской молекулярно-биологической лаборатории Д.И. Свругун.

Устные и стендовые доклады участников конференции были распределены в рамках шести секций: биомолекулярные структуры, биосовместимые и органические материалы; поверхности и слоистые наносистемы; структура и динамика трехмерных систем; информационные и когнитивные технологии; численные методы, компьютерное моделирование, теория рассеяния и дифракции; аппаратно-методическое обеспечение эксперимента.

*Пресс-служба  
Курчатовского института*

# CALS-технология плазменно-криогенного синтеза нанодисперсного кремния

На основе концепции CALS проведена разработка процесса синтеза нанодисперсного кремния в плазмохимическом реакторе с криогенной закалкой. Показано, что криогенная плазмохимия является новым и перспективным направлением.

*А.М. Бессарабов,  
М.Я. Иванов,  
А.В. Квасюк*

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт химических реактивов и особо чистых химических веществ» (ФГУП «ИРЕА»), Москва, 107076, Богородский Вал, 3  
E-mail: bessarabov@irea.org.ru*

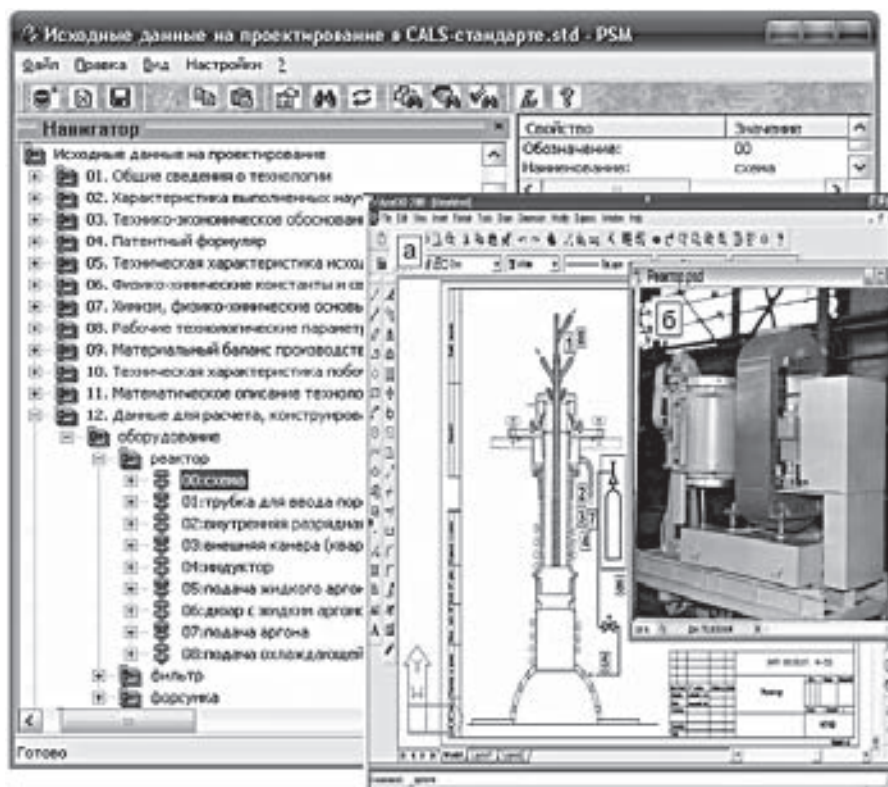
## ВВЕДЕНИЕ

В качестве объекта исследования нами выбран нанодисперсный кремний, широко используемый для решения важнейших фундаментальных и прикладных задач в различных областях российской экономики (создание солнечных батарей, противораковых препаратов, солнцезащитных кремов нового поколения и др.) [1, 2]. Для синтеза этого материала перспективно применение низкотемпературной плазмы с криогенной закалкой, позволяющей получать монодисперсные нанопорошки.

Следует отметить, что отечественная плазмохимия занимает лидирующее место в мире. Научные результаты, полученные в отечественных школах плазмохимии, таких как Институт нефтехимического синтеза РАН, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Институт проблем химической физики РАН, ГНЦ РФ «Гиредмет», Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ (ФГУП «ИРЕА»), до сих пор не превзойдены мировой плазмохимической наукой и являются ориентиром для зарубежных технологических компаний.

Данная работа направлена на дальнейшее развитие отечественной плазмохимии, с целью создания промышленного производства нанопорошков. Сегодня этот процесс является актуальным как никогда ранее, поскольку различные секторы нанотехнологий в области химии, микроэлектроники, инструментальной медицины, керамического моторостроения, сверхпрочных высокотемпературных покрытий (особенно тех, которые работают в области ионизи-

рующего излучения), косметологии и фармацевтики остро нуждаются в нанопорошках. Но если все перечисленные области в свое время обращали внимание только на размерный фактор, а уже тогда порошки размером 5–50 нм были доступны, то сейчас потребители обратили внимание на их структурные свойства, ибо это создает эффекты по электропроводимости, светоотражению, магнитной проницаемости, адгезионной стойкости и др.



**Рисунок 1.** Информационная CALS-технология плазмохимической установки для синтеза наноматериалов (а – чертеж реактора, б – общий вид)

Известно, что плазма позволяет получать различный уровень молекулярных и радикальных состояний. Но трудности реализации данных состояний всегда упирались в необходимость их мгновенной фиксации не менее чем за микросекунды, а для некоторых случаев и за меньшее время. Однако это возможно лишь в криогенных струях водорода, азота, кислорода, а также аргона, гелия и других благородных газов. Используемые ранее плазмохимические реакторы были лишены подобной возможности. Создание нового класса криогенных плазмохимических реакторов и, как следствие, нового научного направления криогенной плазмохимии наноматериалов является целью данной работы.

### CALS-ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННО-КРИОГЕННОЙ УСТАНОВКИ

Эффективная разработка плазмохимических нанотехнологий требует использования самых современных информационных систем. Наиболее перспективной системой компьютерной поддержки является CALS-технология (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта) [3]. В основе концепции CALS лежит комплекс единых информационных моделей, стандартизация способов доступа к информации и ее корректной интерпретации. Ситуация на мировом рынке наукоемкой продукции развивается в сторону полного перехода на компьютерную технологию проектирования, изготовления и сбыта продукции. Отечественная наукоемкая продукция, не имеющая современного компьютерного обеспечения ее жизненного цикла (CALS-технология), будет существенно отставать от аналогичной продукции, изготовленной за рубежом в системе новых электронных технологий [4, 5].

При разработке плазменно-криогенной установки для получения наноматериалов в рамках информационного CALS-проекта была создана типовая схема (протокол применения) – «Исходные данные на проектирование». В соответствии со стандартом по химической промышленности в структуру исходных данных входит 17 обязательных разделов [3]. Все эти разделы занесены в информационную систему. На экранной форме (рис. 1) дополнительные подпункты отображены только в разделе № 12 (данные для расчета и выбора технологического оборудования). Однако реально в CALS-технологии занесена специфическая для плазменно-криогенного синтеза нанопорошков информация по всем разделам.

Конструкторское электронное описание в соответствии со стандартом STEP (рис. 1) содержит структуру и варианты конфигурации изделия, геометрические модели и чертежи, свойства и характеристики составных частей. На элементе этой схемы приведена криогенно-плазмохимическая установка для синтеза нанопорошков, которая включает в себя: трубку для ввода порошка (1); внутреннюю разрядную камеру (2); внешнюю камеру (3); индуктор (4); устройство для подачи жидкого аргона (5); дюар с жидким аргоном (6); трубопровод для подачи аргона (7); трубопровод для подачи охлаждающей воды (8).

Двухуровневое введение высокочастотной энергии позволило создать в разрядной камере ламинарный плаз-

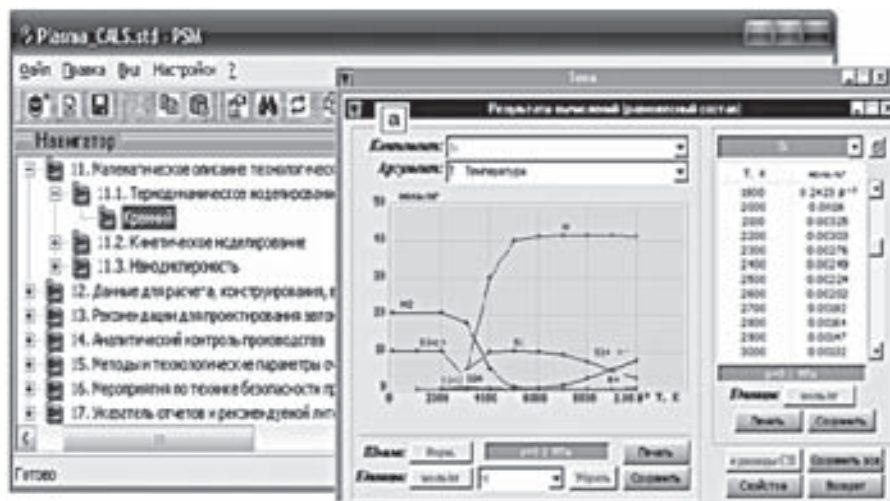


Рисунок 2. Элемент информационной CALS-технологии «Термодинамическое моделирование» (а: SiH<sub>4</sub> – Si, T = 1000–10000 K)

менный поток с числом Рейнольдса не более 50. Плазменный реактор при подобных режимах работает как реактор идеального вытеснения. Это дает возможность вводить в криогенную зону реактора плазму с температурой, в которой все компоненты находятся в парообразном состоянии.

Подача жидкого аргона в реактор осуществляется посредством жиклерных форсунок, расположенных по периферийной зоне стенок реактора. Форсунки имеют угол разворота в 120 градусов, как по вертикали, так и по горизонтали, что позволяет полностью перекрывать закалочную зону реактора. В жиклерные форсунки жидкий аргон подается из танкеров-дюаров под давлением до 100 атм.

Разработка проектной документации проводилась с применением программного обеспечения для автоматизированного проектирования AutoCAD. Все единицы оборудования являются элементами CALS-проекта с соответствующими чертежами и спецификациями.

### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИНТЕЗА НАНОДИСПЕРСНОГО КРЕМНИЯ

В качестве метода получения нанодисперсного кремния нами используется плазмохимический процесс разложения силана: SiH<sub>4</sub> + Ar → Si + 2H<sub>2</sub> + Ar. Преимущество силана как сырья для плазмохимического процесса связано с их высокой летучестью, позволяющей избежать значительных энергозатрат на испарение исходного вещества в реакторе.

Рассмотрение химических и тепломассообменных процессов при повышенных температурах уже на этапе постановки задачи моделирования разложения силана приводит к значительным трудностям. В качестве первого приближения оправдано использование термодинамических методов моделирования [6]. Они предполагают, что рабочее тело в рассматриваемых процессах образует условно замкнутую, изолированную систему, в которой установилось локальное термодинамическое равновесие (ЛТР). В таком приближении состояние системы определяется лишь содержанием в ней химических элементов и значением двух параметров состояния. Правомочность использования термодинамически равновесного приближения оправдывается высоким уровнем концентрации энергии в рассматриваемых объемах и, следовательно, высокими скоростями протекания процессов превращения, мгновенно приводящими среду в состояние ЛТР.

Расчет равновесия изолированных многокомпонентных термодинамических систем может быть сведен к задаче определения состояния, характеризуемого максимумом энтропии. Поэтому для составления искомой системы уравнений необходимо найти аналитическую связь между величиной энтропии единицы массы рабочего тела и термодинамическими параметрами, определяющими ее состав, свойства и условия существования.

В общем случае газообразная система состоит из нейтральных и электрически заряженных (ионизированных) компонентов газовой фазы и отдельных конденсированных фаз. Для газовой фазы в целом и для каждого ее компонента в отдельности справедливо уравнение состояния идеального газа. Конденсированные фазы будем считать однокомпонентными и несмешивающимися. Содержание в системе компонентов газовой фазы ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) и отдельных конденсированных фаз ( $l = 1, 2, \dots, L$ ) будем выражать в молях на единицу массы ( $n_i$ ). Энтропия такой системы равна:

$$S = \sum_{i=1}^k S_i(p_i) \cdot n_i + \sum_{l=1}^L S_l \cdot n_l = \sum_{i=1}^k \left( S_i^0 - R_0 \ln \frac{R_0 \bar{M}_i}{v} \right) \cdot n_i + \sum_{l=1}^L S_l^0 \cdot n_l,$$

где  $S_i(p_i)$  – энтропия  $i$ -го компонента газовой фазы при том парциальном давлении ( $p_i = R_0 T n_i / v$ ), которое он будет иметь в равновесном состоянии;  $S_l$  – энтропия конденсированной фазы ( $l$ ), зависящая только от температуры;  $v$  – удельный объем всей системы;  $S_i^0$  – стандартная энтропия  $i$ -го компонента газовой фазы при температуре ( $T$ ) и давлении, равном 0.1013 МПа.

Определение параметров равновесного состояния заключается в нахождении всех зависимых переменных, включая числа молей компонентов и фаз, при которых величина  $S$  достигает максимума. Данная задача поиска экстремума энтропии системы с учетом уравнений связи решалась по программе «Астра-4», разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана [6].

На экранной форме CALS-проекта (рис. 2) приведены результаты термодинамического анализа плазмохимического синтеза нанодисперсного кремния. Моделирование происходит в температурном диапазоне от 1000 К до 10000 К.

В температурном диапазоне начиная от 3000 К кремний существует в парообразном состоянии. Но предпочтительной областью для подготовки конденсированной смеси является температура выше 4000 К, когда исчезает радикальное состояние  $\text{SiH}_2$  и  $\text{SiH}$ . То есть технологически оправданным для получения нанопорошка кремния является процесс закалки (конденсации) именно от температуры 4000 К. Процесс закалки при этом должен происходить со скоростью  $10^8$  град/сек. Если учесть, что средняя скорость истечения плазменной струи равна или более 50 м/сек, то расстояние, на котором произойдет охлаждение, будет на уровне 2 мм и менее, что и учтено в конструктивных особенностях нашего реактора.

Проводимый нами термодинамический расчет равновесных состояний системы осуществляется в широком диапазоне основных технологических параметров плазмохимического процесса: соотношений исходных компо-

нентов, температур и давлений. Моделирование позволяет выбрать условия синтеза с минимальным энергопотреблением, а также оценить механизм термодиссоциации исходных соединений.

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЕННО-КРИОГЕННОГО СИНТЕЗА

Эксперименты по получению нанодисперсного кремния проводились на плазменной индукционной установке (рис. 1) мощностью в 20 кВт и частотой 4.75 МГц. Установка имела два индуктора, причем на первый подавалась мощность 5 кВт, на второй 15 кВт. В качестве плазмообразующего газа использовалась аргоно-водородная смесь с 15 % об. водорода. Расход плазмообразующего газа составлял  $1.5 \text{ м}^3$  в час. При раздельном введении мощности коэффициент полезного действия составляет 75 %. Плазмообразующий газ вводился в верхней части реактора через специальные щелевые отверстия.

Это позволяло плазмообразующему газу истекать вдоль стенки в ламинарном режиме и затем сформироваться в плазмод. Реагирующая смесь силан-аргон подавалась под срез верхнего индуктора через водоохлаждаемый зонд со скоростным напором 0.1 м/с. Диаметр разрядной камеры составлял 40 мм. Диаметр реактора составлял 400 мм. Было выдержано классическое соотношение 1/10. Подобный расход позволил на выходе из разрядной камеры обеспечить практически ламинарный режим течения с числом Re не более 20. Расход закалочного газа аргона по жидкой составляющей составлял: 0.1, 0.5 и 1 г/сек. Измерение температуры проводилось при помощи калориметрического зонда.

Погрешность измерения составила 500 К. При максимальной мощности, вкладываемой в разряд, температура на срезе выхода из-под нижнего индуктора составила 8000 К. Измерения температуры и параметров течения проводились на реакторе, предназначенном для диагностических измерений. Данный реактор имел геометрию, аналогичную размерным факторам технологического реактора.

Получение наночастиц неорганических веществ в плазменной струе является сложной, многофакторной задачей. С точки зрения плазменной технологии наиболее благоприятные наносистемы – это системы, в которых исход-

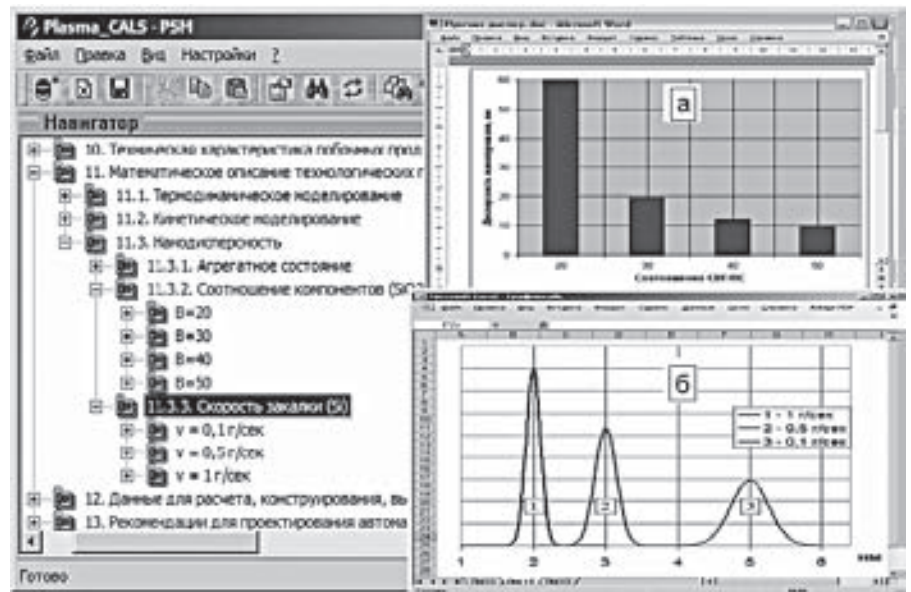


Рисунок 3. Элемент CALS-проекта «Моделирование дисперсности нанопорошков» (влияние на дисперсность: а – соотношения  $\beta$  для  $\text{SiO}_2$ ; б – скорости закалки для Si)



ное вещество вводится в плазменную струю в виде газа, парогазовой или аэрозольной смеси. Наибольшие трудности проявляются при вводе твердых частиц. Это связано с эффектом изотропности плазменных реагирующих струй.

В нашей работе [7] была приведена экранная форма информационного CALS-проекта с подкатегорией «Моделирование граностава нанодисперсных порошков» на примере синтеза нанодисперсного  $\text{SiO}_2$  (рис. 3а). В информационную модель вошли исследования, связанные с влиянием на дисперсность двух параметрических комплексов: агрегатного состояния исходного вещества; соотношения скоростных напоров ( $\beta$ ) плазменной струи и струи вводимого газа (г/сек). При синтезе нанодисперсного Si нами также исследовалось влияние на дисперсность скорости криогенной закалки (рис. 3б).

При исследовании влияния соотношения  $\beta$  на дисперсность в качестве исходного продукта использовался кварцевый порошок ( $d_0 = 10$  мкм). Соотношение ( $\beta$ ) варьировалось от 20 до 50. В результате получались нанопорошки диаметром от 60 до 10 нм (рис. 3а). Исследование влияния на дисперсность агрегатного состояния исходного вещества проводилось нами при плазмохимическом синтезе нанопорошков  $\text{SiO}_2$  (требуемый грансостав:  $d = 10$  нм). В работе [7] показано, что для получения требуемого грансостава при использовании газообразного исходного вещества (тетраэтоксисилан – ТЭОС) достаточно соотношения  $\beta = 1$ . При вводе через форсунку жидкофазного ТЭОС требуется соотношение  $\beta = 12$ . При вводе через питатель кварцевого порошка ( $d_0 = 10$  мкм) для получения нанодисперсного оксида кремния (10 нм) требуется высокое соотношение  $\beta = 50$ .

В каком бы виде исходное вещество ни вводилось в плазменную струю (в виде газа, жидкости или в твердом виде), всегда в зоне ввода будет различие по температуре, плотности и скоростным флуктуациям. Следовательно, временные и энергетические соотношения будут сильно различаться для реагирующих гетерогенных систем, что в свою очередь сказывается на выборе конструктивных особенностей плазменного реактора и вида низкотемпературной плазмы.

Наиболее показательно эти положения просматриваются в работе по синтезу наночастиц кремния. Авторы работы [2] отказались от использования газовой смеси на основе моносилана ввиду взрывоопасности и использовали классическую схему ввода порошкообразного кремния. В работе был сделан упор на технологический прием так называемой перекомденсации. Для кремния, даже микронного размера, чтобы перевести его в газовую фазу за времена менее миллисекунды, необходимо иметь температуру в зоне ввода не менее 10000 К, что плазменный СВЧ-генератор не в состоянии обеспечить. Поэтому авторы получили частицы кремния в диапазоне 2–50 нм. Этому способствовало и течение плазменной струи в СВЧ-плазмотроне. А это, как правило, закрученная струя с высокой степенью турбулентности. В таких струях осуществлять безградиентную закалку практически невозможно. А ведь одним из главных условий получения монофракции нанопорошков является именно безградиентная закалка за времена, приближенные к микросекундам и менее.

Анализ структур полученных нами частиц нанодисперсного кремния проводился с использованием рентгенофазового метода. Анализ распределения частиц по размерам осуществлялся на дисковой центрифуге DCS 5000. Ошибка измерения данного

прибора  $\pm 1$  нм. Все полученные образцы имели рентгено-аморфную структуру.

Поскольку полученный кремний планировался для использования при производстве солнечных батарей, был проведен химико-спектральный анализ образцов на содержание микропримесей. Полученные образцы относятся к классу особо чистых веществ, вследствие того, что содержание в них микропримесей тяжелых и щелочных металлов находится на уровне  $1 \cdot 10^{-5}$  % по сумме металлов: Fe, Ni, Co, Mn, Cr, V, Na, K, Ca, Mg, а также кислорода. Все эти элементы впоследствии оказывают влияние на эмиссионный ток в солнечных батареях.

Нами были исследованы три режима закалки с расходом продукта (смесь силана с аргоном), соответственно 0,1, 0,5 и 1 г/сек. Показано (рис. 3б), что самая узкая фракция (1) получается посредством наибольшего активного затопления парогазовой плазменной струи потоком жидкого аргона (1 г/сек). Самое интересное заключается в том, что все 3 режима, которые разнятся на порядок, дают разброс по максимальному размерному параметру не более 3-х нм (от 2 до 5 нм). Это лишний раз указывает на высокую эффективность криогенной закалки. Расчеты по скоростным потокам с использованием уравнений Навье–Стокса и фазам активного смешения (число Re до 500) позволили дать оценку скорости закалки, которая составила  $10^{-11}$  сек. Т.е. после смешения парогазовый поток превращается в изотропную нанодисперсную пылевую смесь, твердая составляющая (нанопорошок) которой отделялась на рукавных фильтрах. Там же в течение часа проводилась пассивация порошка в атмосфере аргона.

Преимущества криогенной закалки состоят в том, что она позволяет фиксировать любые термодинамические состояния вещества, относящиеся к уровню температур до 10000 К. Криогенная закалка дает возможность перевести кластеры уровня 4000–10000 К в конденсированное состояние. А это означает, что при обычных температурах мы имеем вещества со свойствами, присущими уровню плазменных состояний, т.е. речь идет о твердых ионных состояниях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конструктивные особенности использованного в нашей работе индукционного реактора с криогенной закалкой позволяют: работать на ламинарных потоках; иметь как минимум две высокотемпературные плазменные зоны с регулируемой температурой не менее 15000 К; осушить безградиентную закалку за времена, близкие к  $10^{-8}$  с; осуществить переход из практически любого доступного высокотемпературного плазменного состояния к нормальным термодинамическим условиям. Это открывает дорогу для получения нового класса нанопорошков с развитой химически активной поверхностью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стороженко П.А., Гусейнов Ш.Л., Малашин С.И. // Нанодисперсные порошки: методы получения и способы практического применения. Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4. № 1–2. С. 27–39.
2. Белогорохов А., Пархоменко Ю., Трусов Л. // Плазменные процессы при получении порошков нанокристаллического кремния различной формы. Наноиндустрия. 2009. № 1. С. 14–17.
3. Бессарабов А.М., Афанасьев А.Н. // CALS-технологии при проектировании перспективных химических производств. Химическая технология. 2002. Т. 3. № 3. С. 26–30.
4. Saaksvuori A., Immonen A. Product Lifecycle Management, 3rd edition. Springer. 2010.
5. Bessarabov A., Kvasjuk A., Ivanov M., Menshutina N. // CALS-model of innovative technology for plasmachemical synthesis of nanopowders. Computer Aided Chemical Engineering. 2010. V. 28. P. 757–761.
6. Ватолин Н.А., Моисеев Г.К., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах. М.: Металлургия, 1994.
7. Бессарабов А.М., Иванов М.Я., Кочетыгов А.Л., Квасюк А.В. // Информационная CALS-технология плазмохимического синтеза особо чистых наноматериалов. Инженерная физика. 2009. № 12. С. 31–37.

ООО «Парк-медиа»

при участии журнала

«Российские нанотехнологии» представляет

документальный фильм

# «Критические технологии как создание будущего»



**Игорь Яминский,**  
генеральный директор Центра перспективных технологий, профессор кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник кафедры высокомолекулярных соединений химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор физико-математических наук



**Павел Дорожкин,**  
к.ф.-м.н., руководитель службы развития продуктов и приложений, ЗАО «НТ-МДТ»



**Денис Андреюк,**  
к.б.н., руководитель службы маркетинга, ЗАО «НТ-МДТ»

*Фильм создан в рамках государственного контракта по ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2012 годы».*

За дополнительной информацией обращайтесь в редакцию журнала «Российские нанотехнологии»  
Адрес: Москва, Ленинские горы, Научный парк МГУ, влад. 1, стр 75 Г, корпус 6, оф. 628  
E-mail: [subs@strf.ru](mailto:subs@strf.ru)  
Тел.: +7 (495) 930 8850

**Смотрите фильм**  
на сайтах **STRF.ru** и **nanorf.ru**



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФЕСТИВАЛЬ  
**ИСКУССТВО НАУКИ**  
**2012**



**КОНКУРС ФОТОГРАФИЙ «НАУКА – ЭТО КРАСИВО!»**  
**КОНКУРС СТАТЕЙ И ВИДЕО «НАУКА ОБЩЕСТВУ»**  
**ЛЕКТОРИЙ (СЕМИНАРЫ, МАСТЕР-КЛАССЫ)**  
**КИНОКЛУБ «IQ ФИЛЬМ»**

+7 (495) 930 8850    [WWW.STRF.RU](http://WWW.STRF.RU)