

Л. С. Р а т к и н

## ТРЕТЬЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА НАНОТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕРИАЛОВ

С 5 по 7 декабря 2006 г. в Москве проводилась третья, уже ставшая традиционной специализированная выставка нанотехнологий и материалов “NTMEX-2006”, организаторами которой являлись Департамент науки и промышленной политики города Москвы, Московский комитет по науке и технологиям, ООО “ГалаТэк” и ООО “Компания МКМ ПРОФ”. Одним из основных отличий данного мероприятия от “NTMEX-2004” и “NTMEX-2005” можно считать расширение числа участников и появление новых тематических направлений, в соответствии с которыми была значительно дополнена тематика круглых столов.

Важной особенностью “NTMEX-2006” стало проведение выездного заседания Координационного совета (ВЗКС) по развитию нанотехнологий при Комитете Совета Федерации Федерального Собрания РФ по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии. Тема ВЗКС “Проблемы и перспективы применения нанотехнологий в сфере городского хозяйства” достаточно точно отражала комплекс вопросов, первоочередное разрешение которых будет способствовать повышению эффективности функционирования отрасли с учетом специфики нанотехнологий и наноматериалов (НТНМ). Вступительное слово на ВЗКС заместителя руководителя аппарата Комитета СФ ФС РФ по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии С.Е. Шишова было посвящено краткой формулировке основных проблем развития nanoотрасли и основным путям решения поставленных задач с применением различных инструментов, в том числе нормативно-правового регулирования. Доклад профессора С.В. Серебрянникова — ректора Московского энергетического института (МЭИ) касался преимущественно перспектив применения нанотехнологий в качестве стимула инновационного развития вузов на примере МЭИ. Одной из основных причин, тормозящих интенсивное развитие нанонауки в РФ, является недостаточная информированность отечественных и зарубежных потенциальных инвесторов об уровне проводимых в России нанотехнологических разработок и качестве изготавливаемых наноматериалов, что приводит к снижению эффективности процессов коммерциализации технологий.

В выступлении главного научного сотрудника Института проблем химической физики Р.А. Андриевского были затронуты вопросы информационного обеспечения в сфере НТНМ. Общее число публикаций по нанотехнологиям за последние годы резко возросло и превысило число работ по таким актуальным в научной сфере темам, как кремниевая микроэлектроника, высокотемпературная проводимость и сталь, что характеризует увеличивающийся интерес к НТНМ и очевидные преимущества от их внедрения. Согласно экспертным оценкам, ежедневно в мире публикуется около 200 научных статей, одна монография или сборник и проводится конференция или семинар по тематике НТНМ. Стремительный рост числа публикаций в сочетании с невысокой степенью удельной концентрации работ по конкретной тематике (вследствие широкой сферы применимости) является характерным для информации о НТНМ, что предполагает организацию и эффективную эксплуатацию специализированных информационных хранилищ и создание

соответствующего Всероссийского центра с консультационными и аналитическими функциями.

Перспективы применения НТНМ в сфере городского хозяйства были темой доклада генерального директора концерна “Наноиндустрия” д-ра техн. наук М.А. Ананяна. В настоящее время ведутся работы по организации региональных центров наноиндустрии (РЦН) в ряде регионов России, в числе которых Астрахань, Воронеж, Екатеринбург, Иваново, Ижевск, Кемерово, Краснодар, Красноярск, Москва, Нижний Новгород, Петрозаводск, Санкт-Петербург, Саратов, Тамбов, Томск, Уфа, Чебоксары. Целью создания РЦН является объединение усилий представителей фундаментальной и прикладной науки и промышленного производства для формирования условий развития наноиндустрии в России как платформы для организации высокотехнологичных центров по выпуску конкурентоспособной продукции. Среди наиболее важных задач, решаемых РЦН, можно отметить создание информационной базы нанотехнологий, учет реализуемых региональных нанотехнологических работ, проектов и программ и внедрение достижений наноиндустрии на региональных предприятиях. Основными вопросами, находящимися в ведении Национальной ассоциации наноиндустрии, являются не только организация единого информационного пространства для развития прикладных направлений нанотехнологий и производств на их основе, но и содействие продвижению российской нанопродукции на мировой рынок, создание благоприятных условий для развития инновационных нанопроизводств в сфере малого предпринимательства, а также защита разработчиков, производителей, потребителей нанопродукции и формирование цивилизованного отечественного нанотехнологического рынка. В число ближайших задач ассоциации на 2007 г. по программе внедрения нанотехнологий в России входят экспертиза и структурный анализ технико-технологических проблем промышленности и городского хозяйства, учет и мониторинг развития наноразработок и активное участие в формировании и реализации региональных целевых программ с проведением натурных испытаний на объектах городского хозяйства и промышленности.

В выступлении заместителя руководителя Департамента науки и промышленной политики Правительства города Москвы А.Б. Ушакова довольно большое внимание было уделено организационным проблемам нанопроизводства и вопросам реализации эффективной промышленной политики. В настоящее время частно-государственное партнерство является одной из оптимальных форм функционирования на взаимоувязанных рынках государственных заказов и социально значимых товаров и услуг. Поэтому одной из наиболее важных задач при развитии высокотехнологичных производств является проблема сохранения и увеличения (приумножения) промышленных площадок как базовых полигонов по отработке и совершенствованию механизмов коммерциализации технологий. Создаваемые промышленные зоны должны способствовать внедрению инновационных технологий при условии создания высококапитализированных фирм (с уровнем капитализации в десятки и сотни миллионов долларов), что может способствовать формированию новой системы научно-промышленного развития России. С заключительным словом на ВЗКС к гостям и участникам выставки обратился председатель правления ОАО “Московский комитет по науке и технологиям” чл.-кор. РАН В.Г. Систер. Он подчеркнул, что современное развитие НТНМ, несмотря на существующие проблемы, может быть улучшено посредством налаживания взаимодействия российских научных и деловых кругов.

Перспективы различных подотраслей НТНМ более подробно рассматривались на соответствующих круглых столах.

Первый круглый стол собрал представителей научной общественности, предоставивших свои доклады на тему “Современное инновационное образование и исследования в области нанотехнологий”. В частности, выступление заведующего кафедрой микроэлектроники МИЭТ профессора С.П. Тимошенкова касалось вопросов развития наносистемной техники (НСТ). Согласно аналитическим исследованиям, рынок НСТ-средств развивается быстрыми темпами и стабильный спрос на изделия обеспечен на ближайшие десятилетия в различных отраслях, в том числе транспортной и телекоммуникационной. Отмечалось, что сложные технологические системы на основе НСТ активно применяются в оборонной промышленности (например, для производства высокоточного оружия, средств бесконтактной идентификации, систем контроля и управления доступом), поэтому инвестирование в развитие НСТ-сферы — стратегически важный вопрос для обеспечения безопасности государства и развития собственных вооруженных сил.

Доклад руководителя учебно-научного центра “Зондовая микроскопия и нанотехнология” МИЭТ профессора В.К. Неволлина был посвящен многоаспектному применению полифункциональных наноэлектронных компонентов на основе зондовых нанотехнологий. Интернациональный проект “НАНОФАБ” по проведению исследований на оборудовании ряда стран, интегрированном в единый высокотехнологичный комплекс, является одним из ярких примеров успешного международного сотрудничества России с ведущими мировыми наноиндустриальными державами в сфере НТНМ.

В выступлении заведующего лабораторией радиационных методов, технологии и анализа МИЭТ профессора Н.Н. Герасименко были подробно рассмотрены вопросы формирования наноструктур ионными пучками (ИП). Полученные методом ИП-синтеза Si-Ge квантово-размерные (КР) структуры демонстрируют КР-эффект в рамановском спектре рассеяния и при люминесценции, что позволяет использовать получаемую наукоемкую нанопродукцию в оптоэлектронных системах связи. Информация Федерального информационно-аналитического центра “Нанотехнологии и наноматериалы” включает в себя не только научные статьи и сведения о конференциях, но и аналитические материалы (например, обзор нанотехнологий для применения в аэрокосмической отрасли).

Темой доклада А.Н. Белова (кафедра материаловедения и физической химии МИЭТ) были низкотемпературные (НТ) процессы формирования твердотельных структур для нано- и оптоэлектроники и НТ-технологии создания наноструктур на основе пористых материалов. Среди представленных разработок — анодные оксиды алюминия и титана, матрицы для ориентированного роста углеродных нанотрубок, пористые полупроводники (Si, GaP, GaAs), солнечные элементы с экстремально тонкими поглощающими слоями, нанолитография (зондовое nanoокисление) и электрохимический синтез нитевидных нанокристаллов.

Основные тенденции развития кластерного оборудования для НТНМ были рассмотрены в выступлении директора по производству ЗАО “НТ-МДТ” В.В. Котова. (Это предприятие имеет представительства в США и Европе и реализует нанопродукцию практически в сорока странах мира.) Подчеркивалось, что современный нанотехнологический кластер является многоуровневой полифункциональной структурой, включающей в себя, в частности, интеллектуальные осветительные системы на базе ярких светодиодов, контрольно-измерительное и метрологическое нанотехнологическое оборудование, нанодисперсные формы и модификаторы для производства новых материалов с уникальными свойствами, сенсоры на базе гибридов систем

распознавания, микро- и нанoeлектромеханических систем, технологическое оборудование для нанoeлектроники и нанодиспергирования.

Круглый стол “Химическая технология наноматериалов и наноструктур” открылся вступительным словом заведующего кафедрой РХТУ им. Д.И. Менделеева чл.-кор. РАН Е.В. Юртова. В дальнейших докладах тематика круглого стола была подробно рассмотрена с необходимым уровнем детализации. Так, выступление заведующего кафедрой МИТХТ им. М.В. Ломоносова профессора Д.В. Дробота о функциональных наноматериалах нового поколения содержало обширный аналитический обзор, структурированный согласно тематике круглого стола. В частности, согласно оценкам экспертов, мировой спрос на наноматериалы в 2008 г. планируется в объеме 2,7 млрд долл., а в 2020 г. — 90 млрд долл. Оптическая и электронная отрасли потребляют в настоящее время 41 % валового мирового объема производства нанопорошковых материалов, в то время как на долю обрабатывающей промышленности приходится 28 %, экологии и энергетики — 7 %, металлургии — 3 %, авиационной и космической промышленности — 2 %. При этом существенную часть материальной базы в указанных отраслях составляют обладающие особыми свойствами (магнитными, электромеханическими электрооптическими и другими) металлические и оксидные материалы на основе редких элементов (Mo, Nb, Re, Ta, W и др.).

Разработка стекол с регулируемой наноструктурой для новых областей техники была представлена в докладе профессора РХТУ им. Д.И. Менделеева В.Н. Сигаева. Практическим применением рассмотренных моделей возникновения “вмороженного” электрического поля в процессе электрической поляризации кварцевого стекла и основных нелинейно-оптических и электрооптических эффектов второго порядка является выпуск портативных моделей лазеров мощностью десятки киловатт.

Вопросов получения и исследования наноструктур с использованием ускоренных тяжелых ионов коснулся в своем выступлении д-р физ.-мат. наук В.Ф. Реутов (Лаборатория ядерных реакций им. Г.И. Флерова, ОИЯИ, г. Дубна). Представленная радиационно-ионная технология (РИТ) синтеза нанобъектов (СНО) от других СНО-методов отличается возможностью целенаправленного управления и прецизионного контроля за составом, морфологией и размерами наноструктур, а также удобством реализации условий формирования отдельных наноструктур с целью их фундаментального изучения и синтеза наноструктур квантово-размерных монодисперсных упорядоченных выделений в фиксированном объеме твердого тела. В качестве примеров РИТ, в частности, были рассмотрены ионно-имплантационное синтезирование наноразмерных выделений в объеме твердого тела, металлические нанокластеры на поверхности твердых тел, травленные ионные треки в полимерах как шаблоны для вторичных наноструктур в виде трубок и проволоки из металла, а также радиационно-газовое скалывание полупроводниковых монокристаллических пластин. Микротрубки из металла могут быть использованы в микровибрационных датчиках, в системах дифференциального пропускания катионных и анионных молекул и в световодных микросистемах. Металлическая нанопроволока применима для синтеза монокристаллических стержней для коллоидных растворов, в биосенсорах и магнитосенсорах на основе эффекта гигантского магнитного сопротивления, для анизотропных оптических фильтров, в полевых электронных эмиттерах и в качестве новых материалов для магнитных дисков.

В докладе профессора М.Н. Филиппова (Институт общей и неорганической химии РАН им. Н.С. Курнакова) затрагивались основные проблемы анализа индивидуальных наночастиц (ПАИН). Согласно результатам проведен-

ных исследований, размер анализируемых частиц в 2006 г. составил 35 нм, в 2009 г. должен составлять 25 нм, а к 2012 г. — 15 нм. Достижение указанных размеров предполагает не только повышение технологических характеристик аналитических приборов, но и совершенствование методик и методологий измерения наночастиц. В частности, возможен переход к низким энергиям с использованием “мягких” аналитических линий или к тяжелым заряженным частицам, а также применение просвечивающей электронной микроскопии с отсечением рассеивающей области при анализе тонких пленок (суть проблемы — в пороге детектирования аналитического сигнала). К числу ПАИН можно отнести и построение градуировочной характеристики, так как эмпирическая или теоретическая модель формирования аналитического сигнала должна учитывать все матричные эффекты (решение данной задачи возможно с использованием расчетных способов учета матричных эффектов) и метрологию микро- и наноанализа (в том числе необходимо обеспечить аттестованный химический состав в локальных областях нанометрового размера).

Выступление профессора Н.С. Зубковой (Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина) было посвящено различным прикладным аспектам использования фосфорсодержащей огнезамедлительной системы, содержащей наноструктуры для снижения горючести полиэфиртерефталата. Распределение наночастиц в полимерной матрице производится в небольших количествах (в том числе посредством экстрадера), тем не менее является достаточно эффективным способом технико-технологически и экономически. Эта технология может использоваться и в других сферах, например для крашения и упрочнения текстильных материалов.

Теоретические и практические аспекты проблемы определения критического диаметра наночастицы были подробно рассмотрены в докладе ведущего кафедрой МГТУ “МАМИ” профессора В.М. Волкова. Одностадийная нанокompозитная технология отработана экспериментально на натуральных изделиях и образцах размерами до 20 см при толщине стенки до 1 см. Полученный углеродный нанокompозит имеет более высокие технические характеристики по сравнению с углеродными материалами, производимыми по традиционной технологии, и обладает свойствами газонепроницаемости, радиационной стойкости и химической инертности.

Со вступительного слова научного руководителя ФТИАН акад. РАН К.А. Валиева начал свою работу круглый стол “Наноэлектроника: настоящее и будущее”. Обширный презентационный материал докладчиков наглядно иллюстрировал основные направления дальнейших разработок. Так, различные квантовые эффекты в нанотранзисторах были темой выступления канд. физ.-мат. наук В.В. Вьюркова (ФТИАН). Среди перспективных разработок был представлен кремниевый полевой транзистор на подложке, “кремний на изоляторе”, с тонким нелегированным слоем (наблюдаемые квантовые эффекты в полевом нанотранзисторе — интерференция и квантово-механическое отражение при продольном движении в канале, туннелирование между истоком и стоком, статистика Ферми–Дирака в контактах и поперечное квантование в канале транзистора), создаваемый в рамках Программы квантового моделирования нанотранзисторов для сравнения различных конструкций и оптимизации характеристик.

Различные аспекты метода рентгеновской томографии для исследования объектов с микронным и субмикронным разрешением были рассмотрены в выступлении канд. физ.-мат. наук М.В. Чукалиной (ИПТМ РАН). Артефакты метода, организационные сложности и помехи в измеряемом сигнале являлись основными проблемами, препятствовавшими решению сложной

научной проблемы. Тем не менее с помощью восстановительных методов реконструкции и свертки обратной проекции проблему шумозащищенности удалось разрешить.

Доклад заведующего кафедрой ИПТМ РАН д-ра физ.-мат. наук С.И. Зайцева касался комплекса вопросов, связанных с достаточно новой технологией — литографией нановпечатывания (ЛН). Работы по созданию ЛН проводятся в рамках международной научной программы, в которой участвуют свыше 30 ученых более чем из десяти стран. На период с марта 2004 по февраль 2008 г. на исследования выделена сумма в 31 млн евро. Структура проекта включает в себя шесть частей (среди которых помимо ЛН — “мягкая” литография и технологии для микроэлектромеханических систем) и более ста заданий.

Выступление генерального директора ОАО “НИЦПВ”, декана факультета физической и квантовой электроники МФТИ профессора П.А. Тодуа, было посвящено ключевому звену в развитии нанотехнологий — нанометрологии. Необходимость привлечения молодежи в научно-исследовательские институты предполагает кардинальное переоснащение и модернизацию нанотехнологической отрасли, поскольку фундаментом ее развития является научная инфраструктура. Совершенствование программно-аппаратного обеспечения позволяет достичь единства линейных размеров в нанодиапазоне. В рамках Евро-Азиатской кооперации национальных метрологических институтов предложен проект 305/RU/04 “Метрология в нанотехнологии”. При этом следует отметить, что литеры “RU” в аббревиатуре означают координирующую роль России в ходе реализации проекта.

Тема выполнения идеальных и неидеальных квантовых операций на зарядовом кубите получила освещение в докладе канд. физ.-мат. наук А.В. Цуканова (ФТИАН). Формирование наноструктуры, служащей основой для создания зарядового кубита в целях проведения необходимых исследований его когерентной динамики и аналитических расчетов, может использоваться при построении квантового компьютера. Также в ходе исследований для идеального случая и с учетом неточностей при контроле амплитуд управляющих импульсов были рассмотрены возможности организации квантовой двухкубитной операции CNOT (так называемое контролируемое НЕ).

На специализированном круглом столе также рассматривалось применение НТНМ для строительства. Например, в выступлении директора Информационно-аналитического центра (ИАЦ) “Наноматериалы и нанотехнологии” профессора Ю.Д. Ягодкина были приведены экспертные оценки, согласно которым потребность мировой промышленности в специалистах по нанотехнологиям к 2015 г. составит 2 млн человек в различных областях производства, науки и техники. О важности капиталовложений в нанотехнологии свидетельствует такой факт — в настоящее время в большинстве развитых и развивающихся стран объем инвестируемых частным бизнесом средств сопоставим с государственным финансированием. Поэтому на региональном уровне формирование ИАЦ призвано способствовать эффективному внедрению инноваций в сфере НТНМ в интересах конкретного субъекта Федерации, анализу, мониторингу и содействию в реализации наноразработок. Примерами нанопродукции могут служить нанокристаллические сплавы с эффектом “памяти формы” Ni-Ti и Ti-Ni-Fe (например, для соединения деталей цилиндрической формы посредством сжатия муфтой в трубопроводных системах).

Доклад по проблемам механохимического синтеза нанокмозитов представил директор Института физико-химии материалов МИСиС профессор С.Д. Калошкин. Интенсивная пластическая деформация, прокатка и механо-

активация порошков позволяют получать методом механохимического синтеза квазикристаллы с низкой тепло- и электропроводностью, малым коэффициентом трения и высокой твердостью. При помещении квазикристаллического наполнителя в резиновую матрицу благодаря высокой твердости (8...10 ГПа) происходит повышение износостойкости изделия.

Строительная тематика получила развитие в выступлении заведующего лабораторией ГНЦ РФ “ГИРЕДМЕТ” д-ра физ.-мат. наук А.И. Белогорохова по вопросам, связанным с применением кремнесодержащих наноматериалов. В ходе проведенной совместной разработки с МИТХТ им. М.В. Ломоносова и ФГУП “ГНИИХТЭОС” достигнут эффект защиты лакокрасочных покрытий от УФ-излучения, поглощаемого полупроводниковыми кремнийсодержащими нанокристаллами со средним размером кристаллитов кремния 2...3 нм.

Проблемы применения наноструктурированных резцов для фрезерования асфальтобетонных покрытий дорог и горных разработок были темой доклада председателя Экспертного Совета по наноиндустрии Фондовой биржи высоких технологий кан. техн. наук А.Н. Чехового. В качестве примеров успешного производства на мощностях отечественных предприятий и эффективной реализации на мировом рынке конкурентоспособных НТНМ-изделий приводились результаты инновационных высокотехнологичных промышленных разработок.

На круглом столе “Целевая системная интеграция соисполнителей инновационных проектов” производство нанотехнологической продукции, в частности наноасфальтобетонов, и их применение в дорожном строительстве были рассмотрены в докладе научного руководителя ОНИЛ “Цемент”, первого заместителя директора НИИ МК МАДИ канд. техн. наук Ю.Э. Васильева с точки зрения соответствия условий эксплуатации дорожных покрытий в разных регионах России высоким требованиям к условиям производства, техническим характеристикам и к маркетингу продукции на рынках сбыта. Создание региональных установок, например по производству битума для данного субъекта Федерации или характеризующихся аналогичными условиями эксплуатации, положительно скажется на повышении качества дорожного покрытия, снижении аварийности на дорогах и росте экономики регионов.

Доклад заведующего кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана профессора В.А. Шахнова был посвящен теме нанозологии техносферы. Более чем на полусотне промышленных и жилых зданий и сооружений в России, в европейских и африканских странах апробировалась программно-аппаратная система профилактики и предупреждения техногенных катастроф, состоящая из методов восстановления изделий с применением наноструктурированного бетона, повышающего стойкость к статическим изгибающим и растягивающим усилиям и динамичным сейсмическим нагрузкам, и комплекса мониторинга объектов в разных режимах. Испытания наноразмерных частиц в климатических условиях различных российских регионов и ряда стран Европы и Азии подтвердили высокую пригодность нанопродукции.

В рамках выставки “NTMEX-2006” был проведен круглый стол по проблемам применения НТНМ для медицинских целей, а также состоялась деловая игра “Business to create”, во время которой были детально рассмотрены различные аспекты популяризации и продвижения на внутренний и внешний рынки российских высокотехнологичных разработок.