

Л. Раткин

# ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ и актуальные разработки в микро- и нанотехнологиях на VIII Международном форуме "Высокие технологии XXI века"

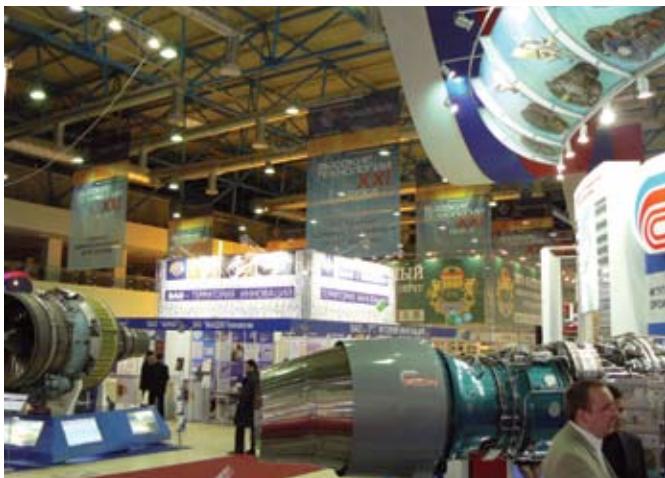
**23-26** апреля на территории московского выставочного комплекса ЗАО "Экспоцентр" проходил VIII

Международный форум "Высокие технологии XXI века" ("ВТ XXI-2007").

Форум проводился под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ и при поддержке Правительства Российской Федерации и Правительства Москвы. Организаторы мероприятия: Министерство промышленности и энергетики РФ, Департамент науки и промышленной политики г. Москвы, Институт экономики и комплексных проблем связи (ОАО "ЭКОС"), Российский фонд развития высоких технологий, Московская торгово-промышленная палата, Московская ассоциация предпринимателей.

Время проведения "ВТ XXI-2007" совпало с завершением подготовки и оглашения ежегодного Послания Президента Российской Федерации В.В. Путина Федеральному Собранию РФ. Тема нанотехнологий затрагивалась и в прошлогоднем Послании Президента, но в этот раз она прозвучала особенно актуально. Так, для формирования научно-технического потенциала России, адекватного современным вызовам мирового технологического развития, поддержания высокого темпа роста ее экономики, необходимого уровня национальной безопасности и повышения качества жизни, на организа-

ционное, материально-техническое и кадровое обеспечение соответствующих работ планируется выделение не менее 130 млрд. рублей, передаваемых в управление создаваемой нанотехнологической корпорации. Общий объем финансирования в федеральном бюджете с учетом ФЦП составит около 180 млрд. рублей, что не исключает активного участия в развитии отечественной наноиндустрии инвесторов. В числе направлений реализации нанотехнологических проектов – здравоохранение, ракетно-космическая отрасль, атомная энергетика, морской и воздушный транспорт, ЖКХ.



Формирование благоприятного инвестиционного климата для комплексных капиталовложений в нанотехнологии возможно и в рамках СНГ, что послужит стимулом инновационного и интеграционного развития региона.

На предваряющей "БТ XXI-2007" пресс-конференции неоднократно подчеркивалось, что одним из основных отличий проводимого форума от предыдущих явилась организация специализированного салона "НАНОТЕХНОЛОГИИ". Вследствие широкого спектра применения наноразработок, вопросы создания и реализации продукцииnanoиндустрии затрагивались на пленарной сессии "Реализация потенциала высокотехнологического комплекса в интересах построения экономики, основанной на знаниях", на секционных заседаниях: "Альтернативные источники энергии и топлива, проблемы энергосбережения", "Биотехнологии: перспективные проекты и механизмы их реализации", "Использование баз знаний и интеллектуальных информационных технологий для подготовки и реализации стратегических решений в сфере инновационного развития", "Кадровые аспекты развития российского высокотехнологического комплекса", "Роль венчурного финансирования в развитии высокотехнологичного сектора российской экономики", "Современные космические системы и их возможности для решения задач в интересах социально-экономического развития РФ".

Детальное рассмотрение вопросов развития nanoиндустрии состоялось на секционном заседании "Микро- и нанотехнологии: приоритетные направления и актуальные разработки", которое открыл доклад профессора кафедры "Микросистемная техника" МИРЭА П.П. Мальцева. В докладе, в частности, отмечено, что взаимосвязь вопросов, возникающих при создании и внедрении в серийное производство микро- и нанотехнологий (МНТ), повышает ответственность специализированных изданий, освещивающих становление и развитие отечественной nanoиндустрии.

В выступлении начальника Управления развития базовых военных технологий и специальных проектов Министерства

обороны РФ генерал-лейтенанта С.М. Алфимова были кратко представлены перспективы применения МНТ в программах, направленных на укрепление обороноспособности государства. Согласно экспертным оценкам, уровень развития промышленных технологий, необходимых для реализации в России НИОКР в рамках государственной программы вооружений до 2015 г. в технологии производства топлива и энергии из органического сырья, а также создания и обработки материалов соответствует аналогичным показателям в развитых странах. По энергетическому, робототехническому и биомедикотехнологическому (жизнеобеспечение человека) направлениям наблюдается отставание до 3 лет. Гораздо более существенный разрыв присутствует в технологиях создания современной электронной компонентной базы, информационных технологиях (ИТ) и метрологии (от 3 до 5 лет); в биотехнологиях разрыв превышает 5 лет. Между тем, практически все перечисленные промышленные технологии, особенно ИТ, биотехнология и энергетика, являются стратегически важными отраслями, поэтому существует настоятельная необходимость сокращения наблюдающегося в них отставания за счет развития высокотехнологичных секторов российской экономики.

Среди перспективных образцов вооружения и военной техники на базе наноструктурированных материалов (НСМ) докладчик отметил, в частности, многоуровневую систему (МС) высокотемпературной антиокислительной защиты. Принцип действия такой защиты основан на химическом захвате активными компонентами МС молекул кислорода из воздуха со снижением диффузионной скорости, что позволяет эксплуатировать теплонагруженные детали и элементы конструкций из углерод-керамических и углерод-углеродных конструкционных материалов (КМ) при температурах до 1650-2000 °C. По ресурсу и рабочей температуре эти показатели на 20% превышают параметры производимых за рубежом аналогов.





Другим примером НСМ являются керамические материалы (КМ) на основе монолитной SiC керамики, направленный рост нанокристаллов в которых способствует формированию каркасоподобной объемно-градиентной структурно-упрочняющей фазы.

Интеллектуальным нанообъектам (ИНО) был посвящен доклад директора ООО "Ангстрем – Центр нанотехнологии", руководителя Наноцентра МЭИ профессора А.Г. Алексенко. К числу ИНО специалисты относят самоорганизующиеся нанокластеры. Примером могут служить растущие углеродные кластеры в нанобетоне, применяемом в высотном строительстве, при создании бесшовных бетонных автомагистралей, восстановлении аварийных объектов без остановки эксплуатации, повышении сейсмостойкости строений и снижении степени разрушения автодорог и железнодорожных шпал. В числе ИНО были также названы "умные" стекла, в т.ч. регулирующие уровень освещенности и шума в помещении, противоаварийный техногенный монитор, использование которого позволяет не только прогнозировать разрушение зданий и сооружений, но и определять место разрушения, а также вычислять потенциальный ресурс работы и ориентировочное время повторной проверки. Отдельными классами ИНО являются нанобиороботы и медицинские биомаркеры. К перспективным направлениям специалисты относят также разработку регистраторов молекул веществ, устанавливаемых в помещениях и на контрольно-пропускных пунктах (таможня, аэропорты, гостиницы и т.д.) для борьбы с наркотрафиком и терроризмом, а также своевременного оповещения населения о чрезвычайных ситуациях.

В настоящее время благодаря взаимному проникновению и дополнению микро- и нанотехнологий достигнута степень интеграции в один миллиард транзисторов на чип, что привело к снижению стоимости чипов до четырех долларов за кв.



см (четыре цента за кв. мм). Соответственно, возросли возможности пользователей ПЭВМ. Современный персональный суперкомпьютер со скоростью вычислений (СВ) порядка трех терафлоп (триллионов операций в секунду) потребляет всего около 62 Вт (для достижения в три раза меньшей СВ в 1996 г. для компьютера "ASCI Red" потребовалась интеграция десяти тысяч процессоров с тактовой частотой 200 МГц, суммарно потреблявших 500 кВт).

Интеллектуализация отдельных нанообъектов может воздействовать на определенные аспекты обеспечения государственной безопасности, что, возможно, потребует внесения изменений в нормативно-правовые документы. Например, помимо таможенного, медицинского, экологического и других гражданских применений "умной пыли", существует возможность ее военного использования, заключающаяся в сетевой самоорганизации, ведении наблюдений и согласованных действий. По мнению докладчика, для решения проблем использования нанопродукции двойного назначения необходимы принципиально новые подходы, в том числе заключающиеся в "думающем", избирательном аутсорсинге для создания нового поколения таких микро- и наносистем с помощью программирования генератора топологии.

Тезис о том, что эффективная реализация масштабных задач возможна на межгосударственном уровне (в рамках Союзного Государства Россия-Беларусь), получил подтверждение в выступлении представителя НИИ космических систем – филиала ФГУП "ГКНПЦ им. М.В. Хруничева" А.Н. Дубового по научно-технической программе (НТП) развития нанотехнологий. Основанием для совместных работ по высокотехнологичному метапроекту НТП для России являлись "Основы развития науки и технологий на период



до 2010 года и дальнейшую перспективу", для Республики Беларусь (РБ) – Государственная программа ориентированных фундаментальных исследований "Наноматериалы и нанотехнологии", реализуемая в РБ уже четвертый год. Цель НТП – формирование единого, общего для двух стран "нанотехнологического" пространства и условий по выходу РФ и РБ на мировые лидирующие позиции в сфере производства и промышленного применения наноматериалов. В качестве одного из результатов реализации НТП предполагается более активное использование возможностей предприятий РБ и РФ, имеющих по ряду перспективных направлений значительный научный потенциал. В качестве заказчиков и исполнителей НТП заявлены Роскосмос – Федеральное космическое агентство (координатор), Национальная академия наук Беларуси (НАНБ), РАН, Минпромэнерго и Минобрнауки России, РФФИ, ряд общественных организаций.

Отдельные аспекты сотрудничества – техника наноконтроля в современном производстве, обработка изображений микроструктур с маркированными частицами с целью изучения динамики их движения и взаимодействия – получили освещение в докладах профессора С.А. Чижика (Институт тепло- и массообмена) и В.М. Артемьева (Институт прикладной физики) НАНБ.

Применение атомно-силового микроскопа в нанолитографии для создания рисунков на поверхности тонких металлических пленок или полупроводников, представленное в выступлении В.И. Борисова (филиал Института радиотехники и электроники РАН), иллюстрировало возможность повышения качества изображений посредством доработки существующих методов. В частности, при создании транзистора с боковыми планарными управляющими электродами вместо протравливания канавок производится окисление поверхности с формированием структуры внутри двумерного электронного газа.

Заведующий лабораторией нано- и микросистемной техники (НМТ) Санкт-Петербургского Государственного политехнического университета Е.Н. Пятышев сфокусировал внимание участников и гостей заседания на технических

и организационных проблемах внедрения НМТ в промышленное производство. В условиях жесткой конкуренции со стороны ведущих мировых производителей решение таких проблем возможно посредством последовательной интеграции инновационных технологических решений, концентрации материальных и интеллектуальных ресурсов, стимуляции инвестиционной активности крупных финансовых институтов. Среди разработанных в лаборатории НМТ устройств – датчики давления тензометрического типа и тепловые преобразователи (ТП) для поверки эталонных источников переменного напряжения с точностью измерений 5–10 % в диапазоне 10 Гц–100 МГц (проводятся работы по аттестации ТП в качестве вторичного метрологического эталона). В лаборатории также освоены технологии анодной сварки кремния со стеклом, глубокого плазменного травления, гофрирования мембран, изготовления деталей из фоточувствительного стекла.

Об образовательном спутниковом проекте "Прозрачный Мир" ("ПМ") для оперативной съемки поверхности Земли из космоса рассказал ведущий инженер ИТЦ "СканЭкс" И.В. Персев. Для обеспечения эффективного управления с доведением до потребителя данных со средним разрешением о дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ) мониторинг осуществлялся с помощью специального микроспутника-демонстратора "ПМ" массой 12–15 кг, сконструированного с применением нанотехнологий и позволяющего на основании карт индекса вегетации, получаемых в результате обработки больших информационных массивов, не только прогнозировать урожайность с/х культур, но и определять по характерным признакам проведение незаконных рубок леса, возникновение и направление распространения чрезвычайных ситуаций (наводнений, пожаров, экологических и техногенных катастроф). Докладчик отметил, что для проведения НИОКР по обработке данных ДЗЗ целесообразна организация сети лабораторий и научных центров в российских и зарубежных вузах.

Научный сотрудник института metallurgии и материаловедения (ИММ) им. А.А. Байкова РАН, член-корр. РАН





Г.С. Бурханов отметил, что в системе Академии наук число организаций, занимающихся разработкой и применением МНТ, продолжает увеличиваться. В частности, активно участвуют в нанотехнологических разработках Институты Отделения химии и наук о материалах (руководитель – академик В.А. Тартаковский), Отделения физических наук (руководитель – академик А.Ф. Андреев), Отделения биологических наук (академик-секретарь – А.И. Григорьев), Отделения информационных технологий и вычислительных систем (руководитель – академик Е.П. Велихов). В ИММ им. А.А. Байкова РАН, проводится комплекс работ по синтезу структур кластерного типа (сложных баридов платиновых и редкоземельных металлов, обладающих совместимостью двух сильнокоррелированных электронных систем – сверхпроводящей и магнитной) и наночастиц простых и сложных веществ с использованием плазменных технологий, получению биоактивных покрытий, катализаторов процессов гидрирования и дегидрирования, тонкопленочных материалов. Докладчик отметил, что преодоление информационной разобщенности и разрозненности академических и прикладных исследований по МНТ возможно путем организации серии регулярных мероприятий по нанотехнике, на которых каждое направление станет темой соответствующей международной научно-практической конференции.

Состояние дел и перспективы развития инфраструктуры наноиндустрии на ведущих предприятиях Роскосмоса были представлены в докладе заместителя начальника отдела ФГУП "ЦНИИ машиностроения", ведущего научного сотрудника В.А. Кулакова. Принятие в 35 странах долгосрочных программ развития нанотехнологических отраслей позволяет оценивать ожидаемый мировой рынок такой продукции уже через десятилетие в 1-2 трил. долларов США. Только в 28 европейских странах функционируют свыше 230 научных центров, в том числе 16 крупнейших исследовательских инфраструктур. Обмен данными в среде научных коллективов стран ЕС обеспечивают более 140 информационных сетей (ИС), причем в ряде стран, в т.ч. Великобритании, Германии, Голландии, Польше и Франции, сформированы национальные ИС.

Разработка в РФ программ по развитию наноиндустрии (до 2015 г.) и ее инфраструктуры (до 2010 г.) предполагает принятие системы мер по консолидации усилий предприятий отечественной ракетно-космической отрасли (РКО), включая совершенствование методологического аппарата, создание национальной нанотехнологической сети специализированных баз данных, дооснащение лабораторных комплексов современными приборами и аналитическим оборудованием с использованием МНТ и наноматериалов.

По мнению экспертов, для полупроводниковой микроэлектроники на 2010-2015 гг. прогнозируется уменьшение размеров элементов (затвора) с 25 до 13 нм, повышение быстродействия с 11,5 до 28,8 ГГц, снижение расходуемой на переключение энергии с 0,015 до 0,002 фемтоДж. Применение наноэлементов

в сравнении с микроэлектронными элементами снижает вес (и, соответственно, энергопотребление) на два порядка при росте на шесть порядков плотности записи и быстродействия.

Слушатель Военной академии ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого К.С. Лопаткин докладывал на секционном заседании о применении наноматериалов в автомобилестроении, позволяющем значительно улучшать технические и эксплуатационные характеристики передних и задних подвесок и демпфирующих устройств легкового и грузового транспорта. Наиболее перспективными направлениями исследований в России и за рубежом в данной области представляется повышение степени технологичности конструкционных решений для магнитоидицкостных демпферов, наращивание порогового значения стойкости к слипанию частиц в магнитной жидкости (МЖ) и осаждению в ней твердой фазы, разработка МЖ, обладающей более высокими показателями намагниченности насыщения.

Значительный интерес вызвало у слушателей сообщение Ю.Л. Копылова и В.Б. Кравченко (Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники РАН), посвященное получению и применению нанокерамики на основе оксидов редкоземельных элементов. Силы, вызывающие сцепление частиц при спекании керамики, резко возрастают при уменьшении размеров частиц, что позволяет при нормальном давлении и относительно низких температурах (ниже  $T_{\text{плавл.}}$ ) достичь стопроцентную плотность керамического тела. Получение нанокерамики во многом схоже с обычными процессами создания традиционной керамической продукции, но в технологический цикл обязательно включается синтез наноразмерных порошков, что предполагает решение ряда сложных технологических проблем. Для получения нанокерамик необходимо, чтобы синтезируемое соединение на молекулярном уровне соответствовало требованиям стехиометрии, отсутствовали бы жесткие агломераты, в исходном порошке размер зерен не превышал 100 нм, а распределение их близко к монодисперсному. Были получены порошки оксидов  $Y_3Al_5O_{12}\cdot Nd(Ce,Eu)$  и  $Y_2O_3\cdot Nd$  сферической формы с размером зерен 20-100 нм и мягких агломератов размером менее 1 мкм. Доля агломератов размером более 1 мкм – 20-30%.

Выступление сотрудника ЗАО "КБ "Алмаз-37" М.В. Степанова было посвящено замкнутым нанотехнологическим линиям (ЗНТЛ), работающим по схеме "дизайн-центр + нанофабрика", а также сопряженному с нанотехнологической установкой (НТУ) "Алмаз-М" нанокомпилиатору – САПР наноэлементов (НЭ). В настоящее время при создании бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) наметилась тенденция по применению "систем на кристалле" – System-On-Chip (SOC), которые могут быть успешно спроектированы для гражданских и военных применений на САПР НЭ. Концепции "SOC", НТУ и САПР НЭ являются основными компонентами построения ЗНТЛ, внедрение которых на ведущих российских оборонных

производствах позволит существенно сэкономить на себестоимости производства НЭ, сократить сроки выполнения заказов, решить проблему выпуска малых серий при создании и испытании новых образцов ВВТ, многократно снизить риск утечки сведений, составляющих государственную и коммерческую тайну. Обработка описания РЭА в текстовом редакторе с использованием встроенных лексических, синтаксических и семантических анализаторов и систем верификации текстов с последующим поиском конструируемых объектов в библиотеке готовых элементов и расчетом их электрофизических свойств с использованием основных уравнений Шредингера и Пуассона позволит осуществить оптимальное совмещение необходимых технологических процессов, последовательность которых приведет к созданию продукции с заданными тактико-техническими характеристиками.

Радиационным методам в нанотехнологии и новым подходам к рентгеноструктурному анализу пространственно распределенныхnanoструктур был посвящен доклад заведующего лабораторией радиационных методов, технологии и анализа МИЭТ профессора Н.Н. Герасименко. На примерах формирования кубитов для квантовых компьютеров с использованием фокусированных ионных пучков и разработки высокоеффективной flash-памяти на основе синтеза в диэлектрической матрице Ge и Si нанокристаллов формулировалась задача создания в кремниевой матрице квантоворазмерных нанокристаллов Si. Решение такой задачи и ряда других проблем, помимо технического и технологического обеспечения, невозможно без качественно нового уровня информационной поддержки образовательных проектов. При финансировании ФЦП и региональных научных программ необходимо уделять больше внимания такой поддержке в аналитических и исследовательских структурах, академических институтах, центрах коммерциализации технологий, активно привлекать частный бизнес к внебюджетному финансированию нанотехнологий с созданием крупных капиталоемких наноотраслевых производств.

Выступление с.н.с. лаборатории ЯФМИ и МС Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН В.К. Егорова касалось способов "high-tech" диагностики тонкопленочных покрытий методами ионопучковой спектроскопии и высокочувствительного элементного анализа поверхности и диагностики тонкопленочных структур методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Одно из основных отличий представленных технологий – их уникальность на российском рынке: установки представлены в РФ в крайне малом количестве, недостаточном для насыщения спроса. За рубежом данные разработки получили признание и распространены во многих известных научно-исследовательских центрах (НИЦ) и институтах. Широкое внедрение самоокупаемых нанопроизводств в России возможно при получении инвестиций, что позволит расширить отечественную сеть НИЦ и готовить высококвалифицированные кадры для интегрированных структур в сфере МНТ.

С докладом о стратегиях и технологиях применения нанороботов в медицине выступил Н.Б. Нифонтов, на примере МНТ проиллюстрировавший взаимосвязь ряда подходов в фундаментальной и прикладной науке. Отсутствие единой нанотехнологической терминологии является препятствием для оптимизации методов проведения НИОКР в различных отраслях, и решение задачи по терминологической гармонизации позволит повысить эффективность работ в различных отраслях, в т.ч. имеющих стратегический характер для развития экономики России.

Технологиям и изделиям пьезотехники и акустоэлектроники на принципах нанотехнологий и микромеханики, составляющим инновационный потенциал предприятия, было посвящено выступление Е.С. Горнева (ОАО "ЭЛПА").

В завершение заседания был представлен доклад А.С. Селиванова (ФГУП "РНИИ КП") оnanoспутниках серии "THС" для отработки технологий создания перспективных космических систем.

**Фотографии В.Ломова**