

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В СФЕРЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

В 2009 году Российская академия наук (РАН) провела ряд научных сессий, на которых, в числе основных, рассматривались теоретические и практические аспекты применения нанотехнологий.



Руководитель СПбФТНОЦ РАН, вице-президент РАН, лауреат Нобелевской премии акад. Ж.Алферов

следует отметить работы, в которых при температурах, превышающих критическую для перехода “экситонный газ – электронно-дырочная жидкость”, по спектрам фотолюминесценции в наногетероструктурах Si/SiGe/Si выявлен и изучен переход Мота, возникающий при увеличении концентрации экситонов в потенциальной яме квазидвумерного SiGe-слоя. В формирующейся электронно-дырочной плазме по форме линии люминесценции идентифицирована необходимая концентрация частиц.

Сотрудниками Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова (ИРЭ) РАН в терагерцовом диапазоне частот выявлен эффект появления в фоновом спектре наноструктурных керамик щели и проанализированы причины, приводящие к ее формированию. Доказано влияние структуры межзеренных границ на положение в таком спектре верхнего края щели. Установлено также смещение щели в ВЧ-область фонового спектра за счет включений, характерные размеры которых меньше зерен основного материала керамики.

Одним из лидеров российской науки по ряду ключевых направлений фундаментальных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов является Санкт-Петербургский физико-технологический научно-образовательный центр (СПбФТНОЦ) РАН.

Среди исследований, проводимых в Физическом институте им. П.Н. Лебедева (ФИАН),

В Институте теоретической физики им. Л.Д.Ландау РАН установлена возможность достижения в графене температуры порядка нескольких градусов К, что обеспечивает переход в макроскопически сверхпроводящее состояние. Эффект наблюдается при размещении в определенном порядке на листе графена фрагментов сверхпроводящего металла с размерами порядка десятков нанометров между соседними фрагментами в доли микрометров.

ИРЭ РАН и Физико-техническим институтом им. А.Ф. Иоффе РАН в сотрудничестве с Московским инженерно-физическим институтом и Московским институтом стали и сплавов разработан композитный функциональный материал с эффектом памяти формы и обратимыми деформациями активного элемента. Из него изготовлен прототип микропинцета размерами 12x3x1 мкм. Инструмент применим для 3D-манипуляций с органеллами, живыми клетками и углеродными нанотрубками (УНТ).

В Институте автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения (ДВО) РАН при формировании приповерхностного тонкого слоя сплава Ge_xSi_{1-x} с большим, чем у исходной подложки параметром решетки, выявлены структурные превращения в монослоях In на подложке Si. Управление параметром решетки обеспечивает возможность атомного конструирования на поверхности и изучение влияния поверхностных напряжений на про-



Директор ФИАН, вице-президент РАН акад. Г.Месяц



Директор ИРЭ РАН
акад. Ю.Гуляев

цесс формирования наноструктур.

Сотрудниками Института спектроскопии РАН усовершенствована технология формирования методами атомной оптики молекулярных и атомных наноструктур размером до 30 нм. Технология обеспечивает создание упорядоченных массивов, содержащих до миллиона

идентичных структур из биомолекул, полупроводниковых элементов и металлов. Конструируемые наноструктуры перспективны для применения в нанобиосенсорах и нанoeлектронных приборах.

В Институте проблем морских технологий ДВО РАН исследован метод придания стеклянному слою стеклометаллокомпозита пространственной наноструктуры, обеспечивающий ударостойкость и высокую прочность материала,

перспективного для производства корпусов глубоководной техники.

В Институте физики твердого тела РАН разработана технология выращивания сапфировых лент с капиллярными каналами, перспективных для создания скальпелей с флуоресцентной диагностикой резецируемой ткани вблизи режущего острия при хирургических операциях по удалению злокачественных новообразований. Изучение эффекта осцилляций фотонапряжения при смене под влиянием СВЧ-излучения концентрации 2D-электронов в полупроводниковой наноструктуре способствовало разработке нового принципа детектирования. Показано, что когерентное резонансное усиление плазменных волн с выпрямлением их на специально созданном дефекте в электронной системе позволяет управлять знаком и амплитудой фотонапряжения. Сконструирован прототип многопиксельной матрицы детекторов для получения изображений со спектральным разрешением 2 ГГц в диапазоне 0,1–0,6 ТГц при мощности эквивалентного шума $(1-3) \cdot 10^{-14} \text{ W/Hz}^{1/2}$ и времени срабатывания элемента матрицы 1 нс при 140–170К.

Для измерения с субнанометровой точностью волновых деформаций объективов и форм светосильных опти-



Ректор МГУ
им. М.В.Ломоносова
акад. В.Садовничий

для астрономии, рентгеновской микроскопии и проекционной литографии.

Сотрудниками Института автоматики и электрометрии Сибирского отделения (СО) РАН сконструированы полностью волоконно-оптические лазеры на брэгговских решетках с большим диапазоном перестройки частоты. Использование таких решеток в качестве селектора частот и их синхронная перестройка обеспечивают управление работой лазерного резонатора. На базе легированных иттербием, фосфором и эрбием светодиодов в спектральных областях 1100, 1300 и 1550 нм достигнуты диапазоны непрерывной перестройки 45, 50 и 65 нм, соответственно. Установлено, что рассогласование резонансных длин волн решеток при сжатии влияет на ограничение диапазона перестройки.

Реализация совместного проекта МГУ им. М.В.Ломоносова, Институтом общей физики им. А.М.Прохорова (ИОФАН), ИРЭ РАН и ГНЦ РФ "Акустический институт им. акад. Н.Н.Андреева" по наноакустике (нанофононике) привела к выявлению методов формирования "отрицательных" акустических сред (метаматериалов) с противоположно направленными групповой и фазовой скоростями. Опыты на кристаллах с сильной анизотропией сдвиговой упругости и исследования аномальной рефракции и фокусировки позволили установить степень влияния акустической кавитации на эффективность адресной доставки лекарств. В частности, 8-кратное увеличение концентрации лекарства в опухолевой ткани достижимо при применении 100-нм газовых пузырьков в полимерной оболочке в сочетании с ультразвуковым воздействием.

Принцип взаимодействия прямолинейных электронных пучков с медленными плазменными волнами – в основе разработанных в ИОФАН плазменно-пучковых источников сверхмощного когерентного СВЧ-излучения. Продемонстрировано, что плазменный усилитель с релятивистским сильноточным электронным пучком в импульсах порядка

ческих поверхностей, в том числе асферических, в Институте физики микроструктур РАН разработан оптический интерферометр с дифракционной волной сравнения, ряд характеристик которого значительно выше, чем у зарубежных аналогов. Прибор позволит создать в РФ производство объективов сверхвысокого разрешения

10–20 нс с перестройкой частоты излучения 2,5–3,5 ГГц обеспечивает высокое давление и выходную мощность излучения свыше 50 МВт.

Для наблюдения квантовых эффектов в макроскопических масштабах в Петербургском институте ядерной физики им. Б.П.Константинова РАН разработана периодическая магнитная структура с применением постоянных магнитов с градиентом 2,8 Т/мм. Опыты на пучке ультрахолодных нейтронов с длиной волны порядка 10 нм в реакторе Института Лауэ-Ланжевена (Франция) позволили зафиксировать макроскопическое квантование траекторий движения нейтрона в магнитном канале с границами, сформированными градиентом магнитного поля квадрупольного типа.

В Институте проблем лазерных и информационных технологий РАН изучена наностереолитография при одно- и двухфотонном инициировании полимеризации. Сформулированы принципы конструирования биоактивных имплантатов из минерал-полимерных композиций методом лазерной стереолитографии.

Для молекулярно-динамического и квантово-механического моделирования структуры и потенциалов взаимодействия элементов композиционных материалов на базе гибкоцепной полимерной матрицы и наноразмерных наполнителей (шунгит, силикаты, аморфный углерод) использовались вычислительные мощности многопроцессорного кластера Института прикладной механики РАН. Для композита (полимерная матрица и нановключения) рассчитан коэффициент всестороннего сжатия. Расчет микроскопических механических характеристик проведен для модельных кластеров полимерных нанокompозитов при их растяжении (деформировании) вплоть до разрыва.

Методом направленного конструирования политиофен-силановых молекулярных систем с заданными свойствами в Институте синтетических полимерных материалов им. Н.С.Ениколопова РАН созданы функциональные кремнийорганические производные олигодиофенов. Обоснованы уникальные полупроводниковые свойства самоорганизованных нанослоев диметилхлорсилановых производных диалкилквинкетиофена, на основе которых получены "самособирающиеся" полевые транзисторы и микросхемы, состоящие из нескольких сот одновременно работающих транзисторов. Эффект может быть использован для создания сложных микросхем при самоорганизации органических полупроводников.

Для описания демпфирующей роли водородосодержащей аморфной границы в материале с наночастицами в Институте проблем машиноведения РАН предложена механико-математическая модель, свидетельствующая о повышении термодинамической устойчивости матрицы. Изучено движение жидкостей в наноканалах со стенками аморфной или кристаллической структуры. Получены высокоориен-

тированные механические ненапряженные бездефектные нанопленки при большом рассогласовании решеток пленки и подложки (15–25%). Разработанная новая методика осаждения SiC на кремнии позволила получить монокристаллические нанопленки карбида кремния кубического и ряда гексагональных политипов. Предложенный механизм зарождения в нанокompозитных материалах трещин связывает их появление с дислокациями больших векторов Бюргерса, формируемых под влиянием наноскопического идеального сдвига из-за растягивающего внешнего напряжения, высокие значения которого достигаются в нанокompозитных материалах при ударных нагрузках.

В Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН создана компьютерная модель низковольтного ионного микроскопа с размерами ионно-оптической колонны 50x50x120 мкм. Повышение разрешения достигается при использовании принципов ее миниатюризации и ионно-оптических линз, снижающих геометрические аберрации. Это позволяет выборочно удалять единичные молекулы в 2D мономолекулярной решетке, наносимой на кремниевую подложку для создания кубитов квантового молекулярного компьютера.

Для оптимизации методов синтеза высоконаполненных композиционных материалов с углеродными наночастицами в Институте энергетических проблем химической физики РАН измерены комплексные диэлектрические характеристики композитов на частоте 2,73 ГГц, подтвердившие высокий уровень их радиопоглощающих свойств. Испытания также показали, что у композитов с УНТ механические характеристики выше, чем без них.

В программной оболочке NanoMaker на базе современного сканирующего электронного микроскопа фирмы Zeiss EVO-50 в Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН создан программно-аппаратный комплекс для электронной литографии с блоками динамической фокусировки на площади до 100x100 мм, панорамной съемки-экспонирования и разрешения при литографии 20–30 нм. При стоимости российского электронного нанолитографа почти на порядок меньшей, чем у европейских аналогов, его технические характеристики соответствуют параметрам зарубежных аналогов.

С помощью создания на подложках InP эпитаксиальных наногетероструктур InAlAs/InGaAs/InAlAs в Институте СВЧ-полупроводниковой электроники РАН достигнута высокая степень подвижности 2D-электронов. На них с применением трехслойной системы электронорезистов и электронной литографии создана технология конструирования высокоскоростных PHEMT-транзисторов с затвором длиной 180 нм и грибообразной формой при плотности тока до 650 мА/мм. Исследовано влияние электрических полей свыше 105 В/см и их градиентов в таких нанотранзисторах с длиной

канала 30–50 нм.

Проведенное в Научно-исследовательском институте системных исследований РАН изучение особенностей физических процессов в квантоворазмерных структурах кремний-на-изоляторе с моделированием основных электрофизических характеристик транзисторов позволило, в частности, разработать тестовые структуры наноразмерных ячеек постоянных запоминающих устройств и методы расчета шаблонов для субволновых структур.

В Физико-технологическом институте РАН (ФТИАН) создана квантовая модель полевого нанотранзистора в ультратонком слое (2–5 нм) кремний-на-изоляторе и технология плазменно-иммерсионной ионной имплантации для ультрамелких p-n-переходов в микросхемах с критически малыми размерами 22–32 нм. Разработан метод вычисления 3D скрытых изображений с учетом топографии фотомасок для 193-нм источника света для 45-нм и 65-нм проектных норм. Исследовано асимптотическое поведение высокотемпературной намагниченности ансамбля наночастиц в слабом магнитном поле; эффект изучен в экспериментальных кривых намагничивания никеля. Рассмотрены атомные механизмы релаксации упругих напряжений в условиях гетероэпитаксиального роста с совершенствованием рентгеновской диагностики магнитных полупроводниковых гетероструктур с наноразмерными слоями. Разработана технология плазменных процессов формирования 3D нано- и микроструктур (конденсаторы, акселерометры, гироскопы, переключатели). На их основе сконструированы экспериментальные приборы микро- и наносистемной техники.

Созданная в Иркутском институте химии им. А.Е.Фаворского СО РАН методология конструирования ранее не известных молекулярных ансамблей из связанных пиррольных и бензотиофеновых гетероциклических систем базируется на высокотехнологичной реакции ацилбензотиофенов с ацетиленом и гидроксиламином в присутствии сверхосновных катализаторов. Гетероциклические ансамбли перспективны для дизайна наноструктурированных флуорофоров, превосходящих известные аналоги по стабильности и интенсивности эмиссии, что может быть использовано при создании нового поколения оптоэлектронных наноматериалов.

В Институте систем обработки изображений РАН разработана информационная технология численных экспери-



Директор ФТИАН
акад. А.Орликовский



ментов в нанофотонике. Анализ дифракции света на широком спектре устройств микро- и нанооптики основан на решении системы уравнений Максвелла.

Новый принцип создания наноэлектромеханических систем (наномускулов) для высокоэффективных молекулярных машин и переключателей, предложенный в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н.Фrumкина РАН, основан на редокс-управляемом изменении расстояния между слоями (так называемыми палубами) многослойных структур за счет изменения размера металлоцентра. Примером такой машины является бискраунфталоцианинат церия.

Эксперты отмечают, что даже неполный перечень проводимых в учреждениях РАН разработок свидетельствует о высоком качестве фундаментальных исследований в сфере нанотехнологий [1, 2] и необходимости продолжения их финансовой поддержки. Сокращение расходов федерального бюджета 2010 года на научные исследования на 7,5 млрд. руб. по сравнению с 2009 годом (из них на 3 млрд. руб. – на фундаментальную науку) может негативно повлиять на уровень российских разработок и ослабить позиции отечественных научных школ в мире [3].

Специалисты также считают нецелесообразным запланированное сокращение выделения бюджетных средств Федеральному агентству по науке и инновациям на финансирование ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 гг.” и “Развитие инфраструктуры наноиндустрии на 2008–2010 гг.”, так как оно, несомненно, приведет к снижению темпов роста создания перспективной наноиндустриальной продукции и развития нанотехнологий в России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчетный доклад Президиума Российской академии наук. – М.: Наука, 2009.
2. Терехов А.И. Нанотехнологии и наноматериалы в современном мире. – Вестник Российской академии наук, 2009, том 79, № 9, с. 781–788.
3. Александрова А. Дальше – меньше. Научный бюджет сократится. – ПОИСК. Еженедельная газета научного сообщества, 15 января 2010 года, №1–2 (1075–1076), с. 3.

Фото: Л.Раткин

Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники

Дж. М. Мартинес-
Дуарт,
Р. Дж. Мартин-
Пальма,
Ф. Агулло-Руэда

Издание 2-е,
дополненное

М.: Техносфера, 2009.
– 368 с.
ISBN 978-5-94836-209-0
Цена: 325 р.



В данной книге подробно описаны основные физические концепции, связанные с нанонаукой и нанотехнологиями, и возможности создания на их основе микроэлектронных и оптоэлектронных приборов нового поколения.

В настоящее время издается много книг по новейшим разделам нанонауки, но почти отсутствуют учебники и пособия для студентов-старшекурсников и аспирантов, связанных с нанонаукой.

Предлагаемая книга восполняет этот пробел, так как представляет собой ценное учебное и справочное пособие для студентов, специализирующихся в физике, материаловедении и некоторых других технических дисциплинах. Кроме того, книга может представить интерес для ученых и инженеров-практиков, желающих глубже понять принципы нанонауки и нанотехнологии.

Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности

Л. Фостер

М.: Техносфера, 2008.
– 336 с.
ISBN 978-5-94836-161-1

Цена: 420 р.



В предлагаемой книге авторы – известные ученые и бизнесмены, занимающиеся теоретическими и практическими проблемами нанотехнологий, – описывают состояние дел и перспективы их развития на ближайшее десятилетие, а также возможное воздействие нанотехнологий на глобальные процессы.

Книга предназначена для широкого круга читателей: научных работников, специалистов, а также студентов профильных учебных заведений.

Как заказать книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По тел./факсу: (495) 956-3346, 234-0110
E-mail: knigi@technosphera.ru
sales@technosphera.ru