



## Новая жизнь кремния

### Старый материал современной микроэлектроники

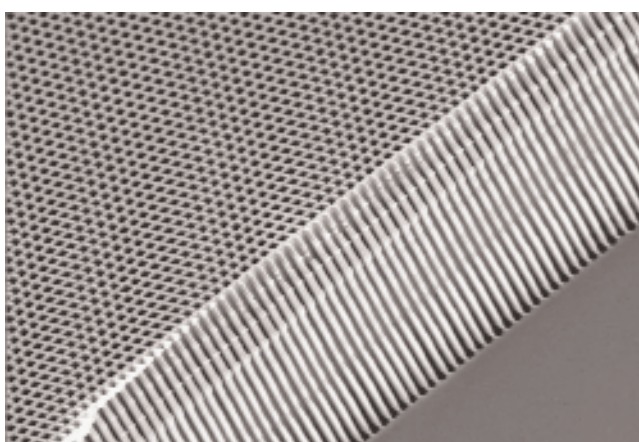


Рис. 1. Макропористый кремний, размер пор: ширина - 4 мкм, длина - 200 мкм

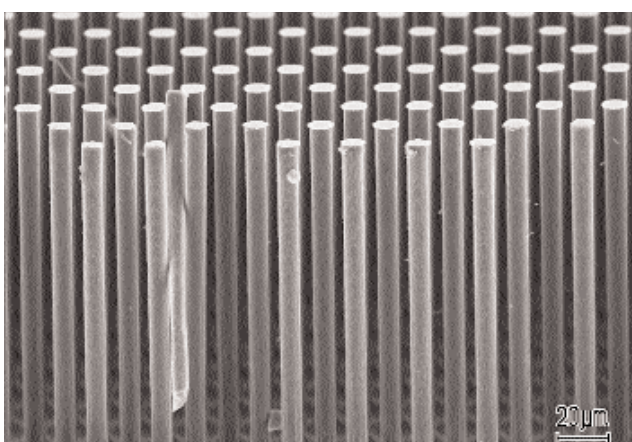


Рис. 2. Фотонный кристалл на основе массива столбиков кремния

Кремний - это основной материал современной микроэлектроники и, как утверждают знающие люди, будет таковым еще долгое время. Однако, по мере развития технологии микроэлектроники, приводящего к уменьшению размеров ключевого элемента интегральных микросхем - транзистора, возникает принципиальное противоречие, заключающееся в том, что на уменьшение времени переключения транзистора за счет более короткого канала МОП транзистора накладывается увеличение времени прохождения сигнала по металлическим проводникам за счет возрастания сопротивления и емкости межсоединений. Таким образом, современная микроэлектроника сталкивается с принципиальными противоречиями на пути дальнейшего увеличения быстродействия вычислительных систем, построенных на кремниевой электронике.

Каким может быть альтернативный путь развития информационной техники? За последние два десятилетия появилась и активно развивается фотонная технология, которая обладает на несколько порядков большей информационной скоростью. В ряде систем эта величина составляет ~1012 бит/с, что на 5-6 порядков величины больше современных проводных систем связи. Внедрение таких высокоскоростных линий связи для передачи сигнала в интегральных схемах обязательно требует перехода к микрофотонике. Элементами таких

микрофотонных систем являются волноводы, модуляторы, оптические фильтры, переключатели и оптоэлектронные детекторы. Для кремниевой микрофотоники материалами, обеспечивающими создание этих элементов, могут быть кремний, германий и оксид кремния. При этом наряду с традиционными микроэлектронными сочетаниями этих материалов и их структурных модификаций: гетеропары, сверхрешетки, Si/SiO<sub>2</sub>- прогнозируется активное использование времени прохождения сигнала по металлическим проводникам за счет возрастания сопротивления и емкости межсоединений. Таким образом, современная микроэлектроника сталкивается с принципиальными противоречиями на пути дальнейшего увеличения быстродействия вычислительных систем, построенных на кремниевой электронике.

К числу таких материалов современной оптоэлектроники и микрофотоники принадлежит и макропористый кремний, потому что уже сегодня демонстрируются его применения в качестве материала для изготовления фотонных кристаллов. По своим физическим свойствам фотонные кристаллы являются аналогами полупроводников. Только если в последних существуют запрещенные зоны в энергетическом спектре электронов, то в фотон-

ных кристаллах существуют запрещенные зоны в спектре электромагнитного излучения, распространяющегося в кристалле. То есть для некоторого диапазона длин волн света существует запрет на их распространение в таком фотонном кристалле. По своей структуре фотонные кристаллы представляют собой упорядоченные структуры, состоящие из материалов двух типов с различными величинами оптических констант. Фотонные кристаллы бывают одно-, двух- и трехмерными. Упорядоченный макропористый кремний - идеальный пример двумерного фотонного кристалла - представлен на рис. 1. По аналогичной технологии создаются кремниевые фотонные кристаллы на основе массивов столбиков. Фрагмент такой фотонной структуры представлен на рис. 2.

Введение в идеально упорядоченный фотонный кристалл некоторых структурных дефектов открывает в его запрещенной зоне уровни длин волн, которые могут распространяться в данном

кристалле. Такое воздействие на кристалл, аналогичное созданию донорных и акцепторных уровней для электронов в полупроводнике, существенно расширяет область использования фотонных кристаллов в микрофотонике. Однако фотонные кристаллы - это не единственная область применения макропористого кремния. В ИПТМ РАН в лаборатории ионной технологии развиваются новые области применения макропористого кремния: в качестве материала солнечных батарей с высокой радиационной стойкостью, основного материала микротопливных элементов и микроканальных топливных процессоров, материала рентгеновской оптики (рис. 3), в мембранной технике, в сенсорике, медицине и др. Это означает, что кремний в его макропористом варианте открывает для себя новую жизнь, не связанную напрямую с микроэлектроникой.

**А. Ф. ВЯТКИН,**  
Лаборатория ионной  
технологии ИПТМ РАН

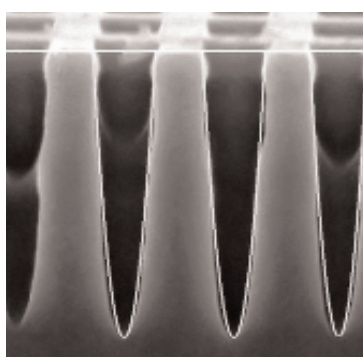
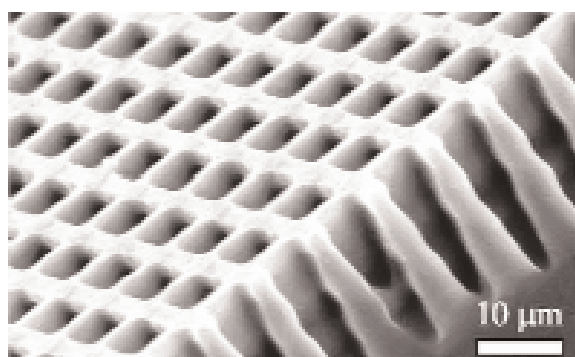


Рис. 3. Массив кремниевых макропор с переменным сечением, близким к параболическому, используемый в качестве рентгеновских фокусирующих линз

"Научный вестник" продолжает знакомить читателей с учреждениями нашего Научного центра. Сегодня мы представляем Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН. Историческая справка (на следующей странице) дает общее представление о прошлом и настоящем Института, а сами ученые ИПТМ рассказывают о конкретных научных проблемах, над которыми они работают. Конечно, здесь представлена только малая часть исследований, ведущихся в этом научном учреждении.

Следует отметить еще и особую социальную миссию, которую несет и несет ИПТМ все эти годы. Речь идет о поддержке детского движения в Черногловке, будь это скаутская организация или Малая академия наук. "Дети - наше будущее" - не пустая фраза для руководства и сотрудников Института. Редакция полагает, что и этот выпуск "НВ" будет полезен старшеклассникам и студентам, поможет им поближе ознакомиться с работами ИПТМ, а потом и прийти в этот Институт.

### В Президиуме НЦ РАН

На очередном заседании Бюро Президиума НЦ РАН, которое состоялось 11 июня 2010 г., в рамках повестки дня были рассмотрены следующие вопросы:

- О календарном плане подготовки документов на объекты благоустройства и ЖКХ для передачи их на баланс городского округа Черногловка (обсуждение). Установлен контрольный срок представления "Графика подготовки документов на объекты благоустройства, передаваемые на баланс городского округа Черногловка, - 15 июля 2010 года.

- О состоянии дел по вопросу регистрации зданий общежитий № 1 и № 2 НЦ РАН. Принято решение: вынести на обсуждение Президиума НЦ РАН Проект Положения об условиях и порядке предоставления специализированных жилых помещений сотрудникам организаций РАН, расположенным в г. Черногловке. С целью упорядочения и оптимизации использования помещений общежитий НЦ РАН, создать комиссию из представителей НЦ РАН, институтов НЦ РАН, ФГУП "УЭ НЦ РАН" и Совета молодых ученых НЦ РАН.

### Новости из институтов НЦ РАН

#### ИПХФ

- 21 мая 2010 года состоялась Первая конференция молодых ученых Института проблем химической физики РАН, в ней приняли участие молодые сотрудники (до 35 лет). Конференция была посвящена вопросу создания Совета молодых ученых Института. Директор ИПХФ академик С.М. Алдошин рассказал о необходимости привлечения и закрепления молодых кадров в РАН, о важной роли советов молодых ученых в решении этого вопроса. К.х.н., с.н.с. А.В. Левченко выступил с докладом "О необходимости создания Совета молодых ученых в ИПХФ РАН"; были обсуждены наиболее важные проблемы, возникающие у молодых сотрудников Института. Делегаты конференции утвердили Положение о Совете молодых ученых ИПХФ РАН, избрали председателя и Бюро Совета. Председателем был избран А.В. Левченко, членами Бюро - С.А. Курочкин, Г.В. Малков, Е.А. Салганский и М.В. Цветков.

Совет будет содействовать профессиональному росту научной молодежи ИПХФ РАН, привлекать ее к активному участию в проведении фундаментальных и прикладных исследований, договорах, контрактах, решать проблемы социальной защищенности молодежи и многие другие вопросы.

- С 14 по 16 июня на базе Института проблем химической физики РАН при поддержке Научного совета РАН по электрохимии было проведено юбилейное 10-е Международное совещание "Фундаментальные проблемы ионной твердого тела". Начиная с 1994 года, по инициативе профессора Е.А. Укше это мероприятие традиционно проходит в Черногловке как в одном из ведущих научных центров России. Встреча была посвящена динамично развивающемуся направлению науки - ионике твердого тела, включающему комплекс проблем химии твердого тела, физики твердого тела, электрохимии, материаловедения, твердотельных электрохимических устройств. В работе Совещания приняло участие около 130 ведущих специалистов и молодых ученых из России, ближнего и дальнего зарубежья.

Учреждение Российской академии наук Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (ИПТМ РАН) было создано в соответствии с постановлением ЦК КПСС и СМ от 29 мая 1983 г. и постановлением Президиума АН СССР от 29 сентября 1983 г. № 1067 на базе подразделений Института физики твердого тела и начало функционировать с 1 января 1984 г.

Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН формировался в 1982-1983 гг. в составе Института физики твердого тела АН СССР и получил самостоятельность 1 января 1984 года. Основатель новой академической организации и ее директор в первые годы член-корр. АН СССР, профессор Ч.В. Копецкий заложил в жизнь молодого научного учреждения основы таких традиций, как динамизм в проведении исследований, поиск их приложений в самых неожиданных областях, направленность исследований на получение конечного результата.

Становление Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН как научной организации происходило одновременно с организацией по инициативе вице-президента АН СССР академика Е.П. Велихова Отделения информатики и вычислительной техники и автоматизации Академии наук СССР, куда и вошел ИПТМ АН СССР.

Перед Институтом ставилась задача проведения фундаментальных исследований в области физических основ микроэлектроники и свойств микро- и нанообъектов, создание методов контроля и диагностики микроструктур, разработка новых технологических процессов микроструктурирования, поиск и получение новых материалов для микроэлектроники.

В связи с поставленными задачами формировалась и структура научных и производственных подразделений. Кроме того, было создано несколько отраслевых лабораторий совместно с заводом имени 50-летия СССР Министерства электронной промышленности, институтами Министерства промышленности средств связи, с ГИРЕДМЕТ.

ИПТМ установил научные и производственные связи со многими институтами Академии наук СССР, МГУ им. М.В. Ломоносова, предприятиями и отраслевыми научно-исследовательскими институтами г. Москвы, Санкт-Петербурга, Минска, Новосибирска, Еревана, Киева, Нижнего Новгорода, Кишинева, Томска, Выборга, Зеленограда, Фрязино и других городов. Были подписаны соглашения о научно-техническом сотрудничестве с рядом научных организаций Германии,

Франции, Швеции, Великобритании, Японии.

Ученые ИПТМ РАН явились инициаторами развития двух оригинальных научных направлений, нашедших мировое признание: металлическая наноэлектроника (лаб. д.ф.-м.н. В.Т. Петрашева) и Брегг-Френелевская рентгеновская оптика (отдел член-корр. РАН В.В. Аристов). Сотрудники ИПТМ РАН выполнили оригинальные разработки в области электронно-лучевой и ионной литографии, плазменно-химического травления, осаждения пленок методами CVD, стимулированного ЭЦР, электронно-лучевого, магнетронного и лазерного напыления. Эти разработки сегодня лежат в основе создаваемых Институтом приборов, установок и новых технологий. Успешно развивалась и традиционная для ИПТМ, возникшая еще в ИФТТ АН СССР, тематика получения и анализа чистых веществ.

ИПТМ РАН формировался в трудные годы перестройки - годы спада интереса государства к постановке новых научных исследований. В это время развитие науки шло, по существу, только по инерции. В этих условиях огромная роль в развитии Института принадлежала директору ИПТМ РАН член-корр. РАН В.В. Аристову.

Структура научных подразделений института регулярно изменялась и совершенствовалась: расформировывались одни и возникали новые группы и лаборатории. В настоящее время она соответствует основным направлениям научной деятельности ИПТМ РАН.

Коллектив ИПТМ РАН развивает фундаментальные и перспективные прикладные исследования, а также разрабатывает технологические процессы и нанотехнологическое оборудование. Среди широкого спектра задач, решаемых учеными ИПТМ РАН, можно выделить основные темы исследовательских работ:

**1. Физические принципы создания элементной базы наноэлектроники, квантовых компьютеров и датчиков физических величин на основе материалов с металлической проводимостью, в том числе с пониженной размерностью** (руководитель - д.ф.-м.н. В.А. Тулин).

Исследуются в первую очередь электрические и оптические свойства структур нанометровых размеров, создаваемых на основе технологических разработок ИПТМ РАН.

В ИПТМ РАН впервые начаты исследования транспортных свойств металлических наноструктур сложной топологии, что открыло перспективы создания новых активных элементов микроэлектроники. Перспективные результаты получены в области наноконтактов и нанопроводников, примыкающих по своим размерам к молеку-

# Путь к успеху

## ИПТМ: история и современность



Директор-организатор ИПТМ РАН (1984-1988 гг.) член-корреспондент АН СССР Чеслав Васильевич Копецкий



Директор ИПТМ РАН (1989-2004 гг.) член-корреспондент РАН Виталий Васильевич Аристов



Директор ИПТМ РАН (с 2004 г.) профессор, доктор физ.-мат. наук Вячеслав Александрович Тулин

лярным системам. Разработана технология изготовления металлических наномостиков и приготовления образцов для исследования транспортных свойств индивидуальных углеродных нанотрубок и биомолекул.

Широкое развитие получила магнитотуннельная спектроскопия полупроводниковых низкоразмерных квантовых систем на основе гетероструктур GaAs/AlGaAs. Впервые было получено пространственное распределение плотности вероятности волновой функции электронов в InAs квантовых точках (лаб. к.ф.-м.н. Ю.В. Дубровского).

В ИПТМ РАН впервые были получены моно-

следования физических свойств микро- и наноструктур, в ИПТМ РАН начаты работы по разработке элементной базы квантовых компьютеров.

**2. Разработка физических основ материаловедения, технологии и диагностики микро- и наноэлектроники** (руководитель - чл.-корр. РАН В.В. Аристов).

Принципы и проблемы создания элементной базы микросистемной техники: в этом направлении исследованы процессы формирования кремниевых микро- и наноструктур с широким диапазоном аспектных отношений (отношение глубины слоя к ширине), которые были успешно применены

копии (РЭМ). На базе этих экспериментов предложен новый эффективный подход к восстановлению распределения состава и физических свойств в полупроводниковых материалах и структурах - "аппаратурная" РЭМ-томография.

Разработан метод аппаратурной микротомографии слоистых структур, и для его реализации создан оригинальный спектрометр тороидального типа, адаптированный к РЭМ. Другой новый бесконтактный неразрушающий метод диагностики полупроводниковых кристаллов базируется на емкостном детектировании поверхностного электронно-индуцированного потенциала. Этот способ контроля качества полупроводниковых материалов и приборов, не имеющий аналогов, позволяет с высоким пространственным разрешением визуализировать электрически активные дефекты в кристаллах.

Рентгеновская оптика: создание источников синхротронного излучения третьего поколения и проектирование источников четвертого поколения открывает новые уникальные возможности для развития рентгеновской диагностики материалов микроэлектроники, а также в медицине и биологии. С созданием в ИПТМ РАН Брегг-Френелевской оптики появились широкие возможности для реализации различных рентгенооптических схем, обладающих пространственным разрешением 0,1 мкм и дифракционной эффективностью до 80%. Принцип работы Брегг-Френелевских линз (БФЛ) заключается в совмещении брегговской дифракции на кристаллической решетке или многослойном интерференционном рентгеновском зеркале и дифракции Френеля на искусственно созданном рельефе. В настоящее время БФЛ, а также другие типы линз, созданные

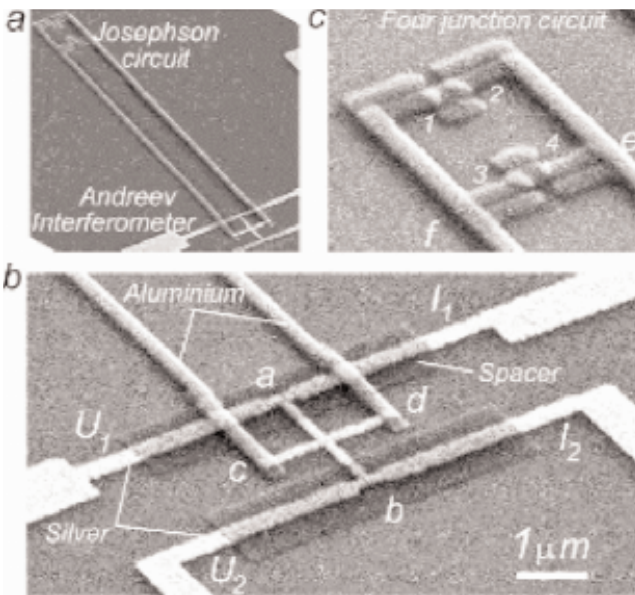
в ИПТМ РАН, используются во Франции и Германии в качестве базовых оптических элементов на источниках синхротронного излучения.

Чистые вещества и материалы электронной техники: в Институте создан надежный фундамент для получения целого ряда элементов и соединений на их основе с содержанием контролируемых примесей на уровне  $10^{-6}$  и  $10^{-7}$  масс.% методами кристаллизации из расплава (направленная кристаллизация, зонная плавка), термобработки в окислительной, восстановительной, нейтральной, в том числе вакуумной, атмосферах. Инициатором и непосредственным руководителем работ в ИПТМ РАН в данной области являлся директор Института чл.-корреспондент АН СССР, проф. Ч.В. Копецкий.

Разработаны комплексные технологии получения ряда высококачественных материалов и соединений на их основе, большинство из которых превосходят по качеству лучшие мировые образцы. Большой вклад в развитие этого направления внес доктор химических наук В.А. Смирнов. Проводятся исследования в целях получения таких объектов микроэлектроники и электронной техники, как углеродные пленки алмазной и алмазоподобной структур, а также изучения свойств и создания технологии тонкопленочных структур на основе соединений с высокой ионной проводимостью.

**3. Изучение физических основ и разработка технологии формирования приборных структур микро- и наноэлектроники с помощью атомных, ионных и молекулярных пучков** (руководитель - д.ф.-м.н. А.Ф. Вяткин).

Очевидно, что любая новая технология должна удовлетворять условиям экономической эффективности. Поэтому ориентация на техноло-



Электронно-микроскопическое изображение четырехконтактной джозевсоновской цепи с системой считывания на основе андреевского интерферометра

кристаллические пленки графита, толщиной вплоть до молекул. Таким образом, экспериментально реализован новый двумерный объект - графен (планарный молекулный лист графита). Наблюдаемые свойства полученных графитовых структур позволяют надеяться, что они могут использоваться как металлургический полевой транзистор нанометровых размеров.

Используя богатый опыт изготовления и ис-

при изготовлении элементов рентгеновской оптики, микроэлектроники, фотоники и микромеханики.

Диагностика структур микро- и наноэлектроники: значительная часть проводимых в Институте исследований была посвящена разработке новых локальных методов характеристики полупроводниковых материалов и структур с повышенным пространственным разрешением на основе растровой электронной микро-

гию кремниевой микроэлектроники и на кремний, как базовый материал микроплавного элемента представляется очень перспективной.

Макропористый кремний - это материал, в котором размер пор варьируется от десятых долей микрометра до сотни микрометров. В ИПТМ РАН проводятся исследования и разрабатываются технологии формирования как упорядоченных, так и неупорядоченных макропор, выполняемые в лаборатории ионной технологии в последние годы. Макропористый кремний в сочетании с технологиями микроэлектроники и микроэлектроники позволяет реализовать все возможные варианты создания микроплавных элементов: биполярный, монокристалльный (т.е. планарный) и проточный вариант.

В ИПТМ РАН накоплен уникальный опыт работы по созданию макропористого кремния и развитию технологий микроэлектроники и микроэлектроники. В содружестве с корпорацией "Даймлер Крайслер" на протяжении ряда лет в Институте ведутся совместные исследования по применению макропористого кремния в технологии топливных элементов. Концентрация усилий на этом направлении позволит выйти на промышленный уровень разработок новых перспективных источников энергии.

**4. Исследование физических основ и разработка технологии элементной базы СВЧ-электроники** (руководитель - к.т.н. С.Ю. Шаповал).

Работы по этому направлению охватывают широкий спектр поисковых и прикладных исследований в области технологии микроэлектроники и микроэлектронной техники:

- физика сверхвысоко-частотной плазмы в условиях электронного циклотронного резонанса и ее применение в технологии наноэлектроники (совместно с ЭЗНП РАН) для прецизионного травления, осаждения тонких слоев и эпитаксии, включая разработку и изготовление промышленного ЭЦР-плазменного оборудования наноэлектроники;

- исследование физических основ приборов и интегральных схем на основе широкозонных полупроводниковых матери-

- алов;
- технология и конструкция датчиков физических параметров как одиночных, так и в матричном исполнении;

- разработка новых принципов прецизионного перемещения по гладким поверхностям.

Разработана конструкция и лабораторная технология однозатворных транзисторных структур с Т-образными суб-100 нм затворами на основе легированных структур AlGaIn/GaN с двумерным электронным газом. Получены первые образцы транзисторных структур легированных AlGaIn/GaN HEMT.

#### Аналитико-сертификационный центр ИПТМ РАН

На базе пяти аналитических лабораторий в 1993 году создан аналитико-сертификационный центр, разрабатывающий новые методы анализа высококачественных веществ, объектов окружающей среды, технологических сред и материалов (используемых в технологии микроэлектроники), биологических и пищевых продуктов сталей и сплавов, полу- и сверхпроводников сложного состава с использованием атомно- и масс-спектрометрических, ядерно-физических методов анализа.

В Институте работает специализированный ученый совет по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 002.081.01 по специальностям 05.27.01 - твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах (физико-математические науки).

Для подготовки высококвалифицированных научных кадров при ИПТМ РАН созданы аспирантура и совместная с Московским физико-техническим институтом (МФТИ) кафедра физики и технологии наноэлектроники.

Институт является организатором регулярных российских симпозиумов по растровой электронной микроскопии и российских конференций по электронной микроскопии.

По состоянию на 1 января 2010 г. общая численность сотрудников составила - 302 человека, в том числе научных сотрудников - 120 человек, докторов наук - 21, кандидатов

Аналитический сертификационный испытательный центр ИПТМ РАН (АСИЦ ИПТМ) проводит исследования в области методов разделения и концентрирования элементов, разрабатывает новые методики элементного и изотопного анализа различных веществ, а также оказывает консультационные услуги в области неорганического анализа. В области элементного анализа различных высококачественных веществ (от Li до U), природных и питьевых вод, почв, грунтов и донных отложений, аэрозолей, а также биогеохимических проб (костные и мягкие ткани, травы, листья и т.п.) АСИЦ аккредитован на компетентность и независимость в системах СААЛ (Система аккредитации аналитических лабораторий) и НАНО-СЕРТИФИКА (Система добровольной сертификации продукции нанотехнологий). Аттестаты аккредитации зарегист-



Рис. 2. География сотрудничества АСИЦ ИПТМ РАН.

рированы в Государственном реестре: № РОСС RU.0001.513800 от 10.08.2009 для СААЛ и № РОСС RU.B503.04НЖ00.50.04.001 для НАНОСЕРТИФИКА.

Для анализа используются два современных многоэлементных метода: атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральный с индуктивно связанной плазмой. Анализ проводится высококвалифицированными специалистами на нескольких ежегодно поверяемых спектрометрах в специально оборудованных помещениях с использованием импортных реактивов и по методикам, прошедшим метрологическую государственную аккредитацию. Следует отметить, что 7 методик масс-спектрального анализа различных объектов, разработанных и аттестованных сотрудниками центра, в настоящее время имеют статус отраслевых стандартов Министерства природных ресурсов РФ.

Совместное использо-

вание двух аналитических методов позволяет определять до 70 элементов в одной пробе массой более 20 мг с пределами определения до 10-10% масс. для Th и U, а в природных и питьевых водах - до 72 элементов в пробе объемом более 2 мл с пределами определения для некоторых элементов до 0,01 нг/л. Столь же рекордные возможности как по кругу определяемых элементов, так и по пределам определения достигаются при анализе аэрозолей, горных пород, почв и грунтов, а также биогеохимических проб.

Одной из основных задач АСИЦ традиционно является разработка новых методов и выполнение анализа в области высококачественных материалов. За последние пять лет сотрудниками АСИЦ в рамках международного проекта GERDA было разработано несколько методик анализа высококачественного германия, что позволило проводить контроль за примесным и

изотопным составом при изготовлении низкофоновых детекторов из германия с природным распределением изотопов и детекторов из моноизотопного германия-76. Эти детекторы предполагается использовать в международных экспериментах по поиску безнейтринного распада. Аналогичные задачи аналитического контроля решались и в рамках контракта с Федеральным агентством по науке и инновациям по изготовлению изотопно-обогащенных монокристаллов молибдата кальция для детекторов низкоэнергетических элементарных частиц. Также АСИЦ на протяжении многих лет сотрудничает с рядом институтов РАН и организаций других ведомств в области анализа высококачественных веществ и различных высокообогащенных стабильных изотопов (ИХВВ РАН, ИЯИ РАН, ГИРЕДМЕТ и т.д.). Так, например, для ИЯИ РАН уже несколько лет проводится анализ высококачественного галлия, ис-

# Аналитический, сертификационный

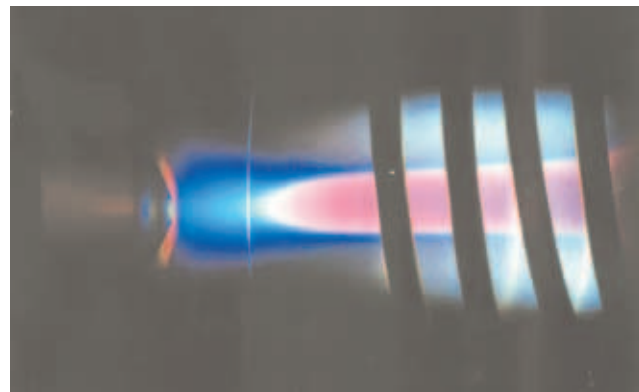


Рис. 1. Индуктивно связанная плазма ( $T = 6000 - 8000^\circ\text{C}$ ), используемый как ионный источник в масс-спектрометрии и эмиссионный источник в атомно-эмиссионном анализе

пользуемого как рабочее тело в нейтринном телескопе. Для Электрохимического комбината (г. Зеленогорск) разработана методика контроля чистоты оксида цинка, обедненного по Zn-68, который широко используется как ингибитор коррозии в ядерных реакторах.

Широкое применение получили разработки АСИЦ в области элементного анализа объектов окружающей среды. Центр активно сотрудничает с геологами, гидрогеологами и экологами Чукотки, Камчатки, Сахалина, Дальнего Востока, Сибири и Европейской части России. В течение многих лет сотрудниками центра проводится элементный анализ поверхностных и подземных вод, отобранных в различных регионах для оценки уровней их загрязненности и подсчета запасов пресных вод. Также широко востребованы возможности АСИЦ в области анализа горных пород, почв, грунтов и донных отложений. Эти работы проводятся в рамках нескольких научных программ Отделений РАН и Президиума РАН, многочисленных договоров на проведение научно-исследовательских работ с различными организациями, а также на безвозмездной основе в порядке оказания научно-технической помощи.

Разработки АСИЦ в области элементного анализа биогеохимических проб в настоящее время используются в совместной работе с сотрудниками Обнинского меди-

цинского радиологического научного центра по изучению элементного состава костных и мягких тканей человека. С целью установления фоновых уровней содержания микроэлементов в костных тканях человека был проведен анализ более 100 образцов костной реберной ткани, отобранной у здоровых людей разного пола и возраста, проживающих в незагрязненном районе Центральной России. Были найдены различия в элементном составе костных тканей в зависимости от возраста и пола. Впервые были установлены особенности накопления и выведения из костных тканей таких элементов, как уран, торий, редкоземельные элементы. В настоящее время обрабатываются результаты элементного анализа почти 100 образцов представительной группы, отобранных у здоровых людей и онкологических больных разного возраста, начата работа по анализу серии образцов щитовидной железы.

В заключение следует отметить, что АСИЦ ИПТМ активно сотрудничает с другими институтами г. Черноголовки. С ИФТТ РАН и ИФАВ РАН проводятся совместные работы по изучению новых органических реагентов, для ИЭМ РАН постоянно проводятся анализы различных горных пород и технологических растворов. Периодически выполняются анализы различных объектов и для ИСМАН РАН и ИПХФ РАН.

В.К. КАРАНДАШЕВ

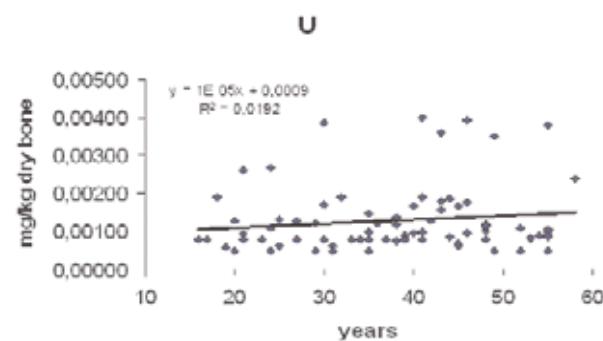
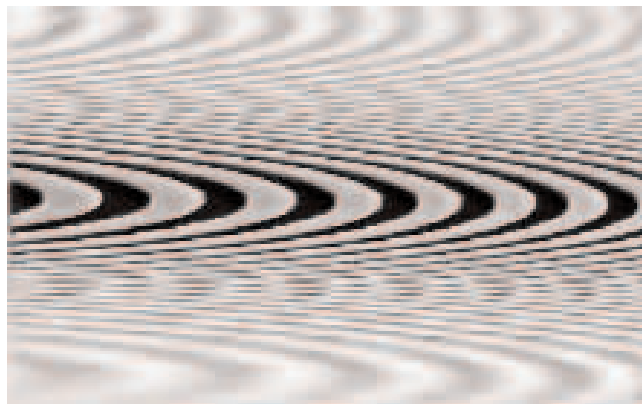


Рис. 3. Содержание урана в костной ткани человека в зависимости от возраста



Брэгг-Френелевская зонная пластинка с фокусным расстоянием 20 см. Размер крайних зон составляет 100 нм.

# Наностержни оксида цинка

## Получение и практическое применение

Исследования в области одномерных полупроводниковых нанокристаллов в настоящее время являются одним из наиболее динамично развивающихся направлений науки и технологии. Одномерными (1 D) принято называть наноструктуры с высоким аспектным отношением (трубки, проволоки, нити, стержни, иглы и т.п.). Интерес к таким объектам обусловлен широкими перспек-

тивами их практического применения в коротковолновых источниках света, в различного рода датчиках и сенсорах, в качестве холодных эмиттеров электронов, а также материала для электродов и солнечных батарей. Среди огромного потока публикаций наиболее значительное место занимают работы, связанные с нанокристаллическим оксидом цинка.

Оригинальная технология получения упорядоченных массивов одномерных нанокристаллов оксида цинка разработана в ИПТМ РАН. В основе технологии лежит метод газовой фазы синтеза твердого оксида цинка из высокочистых элементов (CVD), обеспечивающий высокое структурное совершенство и химическую чистоту нанокристаллов ZnO. Обычно массив представляет собой "лес" вертикально стоящих на подложке одномерных нанокристаллов (рис. 1). На врезке видно, что нанокристаллы (в данном случае наностержни) имеют правильную кристаллическую гранку. На 1 см<sup>2</sup> подложки умещается 350-400 миллионов наностержней. В зависимости от условий проведения процесса могут варьироваться форма нанокристаллов (иглы или стержни), а также их диаметр и длина. Подложками могут служить как монокристаллические материалы (кремний, сапфир), так и обычное стекло, что существенно удешевляет стоимость конечного продукта при практическом использовании.

Физические исследования наноматериалов, синтезированных в ИПТМ, были проведены во многих зарубежных научных

центрах. Результаты исследований подтвердили высокое качество 1 D наноструктур оксида цинка.

В рамках совместного проекта между ИПТМ РАН, ИФТТ РАН, Молдавской АН и Университетом Центральной Флориды (США) были изготовлены водородные сенсоры на одиночных наностержнях ZnO, обладающие высокой чувствительностью и рекордно малым временем отклика (рис. 2).

Наиболее перспективной областью применения одномерных наноматериалов является также нанофотоника. Дело в том, что полупроводниковые наноструктуры (стержни, проволоки, иглы) представляют собой монокристаллы с малым содержанием кристаллических дефектов и с уникальными электрическими и оптическими свойствами, обусловленными пространственным квантованием волновых функций электрона и фотона. Существенное изменение излучательных свойств такого рода нанообъектов обусловлено уменьшением возможного числа фотонных мод при диаметре наностержней порядка длины волны света (100 нм). Следствием является не только дискретный модовый спектр люминесценции стержней, но и увеличение времени жизни возбужденного состояния полупроводниковой среды. Создается возможность получения на основе наностержней различных полупроводниковых материалов лазеров с низкими порогами генерации и малым числом оптических мод. Если в наностержне возможно существование лишь одной фотонной моды, то получается так называемый беспороговый нанолазер, излучающий когерентное монохроматическое излучение при любой накачке.

Синтезированные в ИПТМ монокристаллические наностержни оксида цинка обладают интенсивной экситонной ультрафиолетовой люминесценцией при комнатной

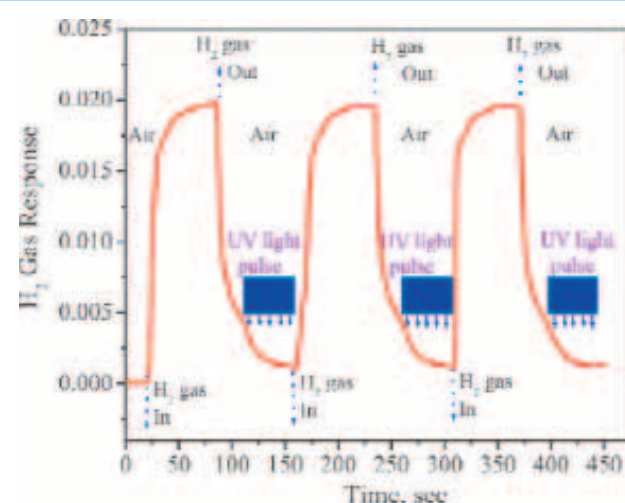


Рис. 2. Отклик на присутствие водорода сенсора, изготовленного из одиночного наностержня ZnO (водород подавался импульсно с концентрацией 10 ppm)

температуре. В результате были получены лазерные источники ультрафиолетового излучения с оптической и электронной накачкой. Оказалось, что если в телевизионную трубку вставить вместо люминофорного экрана прозрачную подложку с массивом полупроводниковых наностержней, то получается лазерный электронно-лучевой проектор для домашнего кинотеатра. Здесь каждый из миллионов вертикальных стержней играет роль маленького лазера, работающего при попадании на него пучка электронов. Получается телепроектор большой яркости для экранов большой площади, способный работать при солнечном освещении. Но, оказывается, и отдельный стержень-нанолазер может быть излучательным элементом для оптической связи между большими интегральными микросхемами в быстродействующих платах современных суперкомпьютеров. Повышение рабочей частоты этих компьютеров приводит к тому, что обычные металлические дорожки не в состоянии передавать весь объем информации между отдельными микросхемами. Требуется "оптическая"

связь в этой сложной сети на электронной плате, и фирма Intel планирует использовать наностержни как маленькие лазеры в элементах микросхем. В ИПТМ успешно получена лазерная генерация на отдельных наностержнях оксида цинка длиной 31 мкм (рис. 3) при оптической накачке. При этом для улучшения параметров этого нанолазера на торцы стержней были нанесены металлические зеркала. Такого рода излучающие элементы будут в будущем основой в полностью оптических компьютерах, где вместо электронов сигнал будет переноситься и обрабатываться оптическими фотонами.

Разработка ИПТМ РАН нанолазера на основе стержней оксида цинка была удостоена золотой медали на Международном салоне инноваций в Женеве в 2007 году.

**А.Н. ГРУЗИНЦЕВ,  
А.Н. РЕДЬКИН**



Рис. 3. Лазерная генерация одиночного наностержня оксида цинка с металлическими зеркалами на торцах, наблюдаемая в оптическом микроскопе

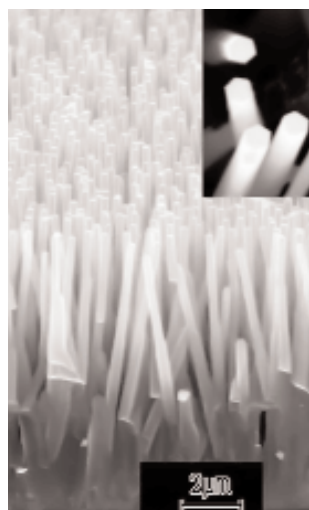


Рис. 1. Массив наностержней оксида цинка на кремниевой подложке. На врезке: увеличенное изображение торцевой поверхности наностержней

### Новости из институтов НЦЧ РАН

#### ФИНЭПХФ

С 7 по 12 июня Кубанский государственный университет проводил Международную конференцию "Ионный транспорт в органических и неорганических мембранах". Напомним, что мембраны - такие устройства, что пропускают через себя одни вещества (молекулы, ионы) и задерживают другие. Существуют области, где мембранная технология не имеет конкурентов: это, например, аппараты "искусственная почка". Среди основных направлений развития мембранной техники и технологии академик Н.А. Платэ называл мембранные процессы очистки сточных вод, получения ценных нефтепродуктов, катионпроводящие полимерные мембраны для электрохимических генераторов, мембранные сенсоры и биосенсоры для компактных высокочувствительных систем управления и приборов и мн. др.

Чрезвычайно важны научные основы получения новых классов термически и химически стойких мембранообразующих полимеров с функциональными группами разной природы. В этом направлении работают и ученые из ФИНЭПХФ. Проф. А.Н. Пономарев, кандидаты наук Д.А. Кришкая, Э.Ф. Абдрашитов, В.Ч. Бокун вместе с сотрудниками лаборатории Ю.А. Добровольского из ИПХФ РАН представили на конференции в Туапсе два доклада по транспортным свойствам протонпроводящих композитных полимерных мембран.

#### ИСМАН

С 6 по 11 июня 2010 года в Тоскании, в курортном городке Монтекатини Терме, расположенном примерно посередине между Флоренцией и Пизой, состоялся 12-й Керамический конгресс в рамках Международного Форума материаловедов SIMTEC-2010. SIMTEC - Conferences Internationales Materiaux et Technologies, то есть Международные конференции по материалам и технологиям. Раз в четыре года, на протяжении более чем сорока лет, этот форум собирает ведущих материаловедов со всех континентов, давая им возможность обменяться идеями и новыми результатами, обсудить перспективы развития науки о материалах и новейших технологий. Впервые на этом Конгрессе проходила тематическая секция, целиком посвященная самораспространяющемуся высокотемпературному синтезу (СВС), - процессу, который был открыт в Черноголовке в конце 60-х годов прошлого века. Заслуга создания секции СВС на Керамическом конгрессе принадлежит почетному гражданину Черноголовки, академику РАН Александру Григорьевичу Мержанову.

С 7 по 11 июня 2010 года в Черногории (г. Бечичи) прошел X Международный симпозиум "Использование энергии взрыва для получения материалов с новыми свойствами: наука, технология, бизнес и инновации" (EPNM-2010). Организаторами Симпозиума выступили Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН и Научный совет по горению и взрыву РАН. В этом году Симпозиум проводился под покровительством Министерства образования и науки Республики Черногория. Мероприятие включало не только научные доклады известных ученых и молодых специалистов, но и интересную культурную программу.

#### ИТФ им. Ландау

21-23 июня 2010 года Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау провел очередную конференцию "Дни Ландау - 2010". Большая гостиная Дома ученых принимала теоретиков, работающих во многих странах мира, а тематика конференции была обширна, как и вся тематика исследований в ИТФ.

А.А. Старобинский избран членом Академии Леопольдина - Национальной Академии наук Германии. Поздравляем Алексея Александровича!

В Институте проводится цикл семинаров по квантовой физике и информатике. Цикл рассчитан на широкий круг слушателей - начиная от студентов с начальными знаниями по квантовой механике, заканчивая состоявшимися учеными, желающими ознакомиться с данной темой. Цель семинаров - популяризовать квантовую информатику и ее применение в физике.

#### ИФТТ РАН

В Институте физики твердого тела 17-18 июня прошла V Всероссийская конференция с международным участием "Твердооксидные топливные элементы и электроустановки на их основе".

В программе конференции был предусмотрен один пленарный доклад, три приглашенных доклада, двадцать пять устных докладов и более тридцати стендовых докладов.

Сопредседателями Оргкомитета являлись член-корр. РАН В.В. Кведер и д.ф.-м.н. С.И. Бредихин.



Учредитель:  
Президиум НЦЧ РАН

Главный редактор  
Разумов В.Ф.  
Выпускающий редактор  
Дроздов М.С.

Члены редколлегии:  
Абросимова Г.Е. (ИФТТ РАН)  
Бовина Е.В. (ИФАВ РАН)  
Бунин В.А. (ФГУП НТЦ "Электронтех")  
Психа Б.Л. (ИПХФ РАН)  
Рошупкин Д.В. (ИПТМ РАН)  
Столин А.М. (ИСМАН)  
Федотова Е.С. (ФГУП ЭЗАН)

Адрес редакции:  
142432, Россия,  
Московская обл.,  
г. Черноголовка,  
Институтский пр., 8

Телефон редакции:  
(496-52) 280-77  
E-mail:  
SCCH\_gazeta@mail.ru

Отпечатана в ГУП МО "Ногинская типография" по адресу: 142400, г. Ногинск, ул. Рабочая, д. 115. Тел.: (251)4-33-02, 4-30-03.

Объем 1,0 п.л.  
Цена свободная  
Тираж 999 экз.  
Подписано в печать  
22.06.2010 в 18.00  
Заказ № 1376

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за точность приведенных фактов, цитат, экономико-статистических выкладок, собственных имен, географических названий и других данных, а также за использование сведений, не подлежащих открытой публикации. Мнение редакции не обязательно совпадает с мнением авторов. Перепечатка без согласования с редакцией "Научного центра" не допускается.