

Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская академия наук
Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ
КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД»**

**Материалы
VII научно-практического семинара
(выездная сессия научного совета РАН
по физике конденсированных сред)**

(Саратов, 2 – 5 июля 2012 г.)

САРАТОВ
Издательство Саратовского университета
2012

УДК 538.9(082)

ББК 22.37я43

А 43

Актуальные проблемы физики конденсированных сред: материалы VII научно-практического семинара (Выездная сессия Научного совета РАН по физике конденсированных сред). – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2012. – ___ с. : ил.

Сборник материалов VII научно-практического семинара включает актуальные результаты, полученные в области физики конденсированных сред, в том числе в плазмонике, инженерии дефектов, диагностике и контроле нанообъектов, синтезировании и применении метаматериалов, квантовых точек и др. Представленные работы носят как фундаментальный, так и прикладной характер, отражающий современные инновационные тенденции научных исследований.

Семинар проведен на базе лаборатории «Метаматериалы» СГУ имени Н. Г. Чернышевского, созданной в рамках гранта Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых.

Для широкого круга читателей, интересующихся последними достижениями российских ученых и новыми приложениями физических знаний.

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я

В. В. Кведер, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук

С. А. Никитов, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук (отв. редактор)

Л. А. Прозорова, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук

Д. А. Усанов, профессор, д-р физ.-мат. наук

И. Н. Чугуева, доцент, канд. физ.-мат. наук (отв. секретарь)

УДК 538.9(082)

ББК 22.37я43

© Саратовский государственный
университет, 2012

НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД – ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

И. Н. Чугуева

Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка

Важными составляющими развития России, где экономика должна основываться на знаниях, интеллекте, является обеспечение фундаментальной науки новейшими приборами, материалами и оборудованием и качественное высшее и среднее образование. Но не менее важна пропаганда науки, научных достижений, поддержание высокого уровня общения в научном сообществе.

Такую работу в том числе ведут научные советы РАН. Научные советы – это работающие на общественных началах научно-консультативные органы, основными задачами которых являются анализ состояния исследований по соответствующим направлениям и координация научных исследований, выполняемых учреждениями и организациями различного ведомственного подчинения. Состав научных советов формируется из ведущих ученых РАН, отраслевых академий, вузов, представителей министерств и ведомств, других учреждений и организаций, участвующих в решении проблем, соответствующих профилю совета.

Многие советы создавались в «романтические» 1960-е гг., когда наука в СССР развивалась очень бурно: появлялись научные направления, создавались институты; был запущен первый искусственный спутник Земли, первый человек полетел в космос.

Постановлением Президиума АН СССР № 817 от 07.09.1961 г. был создан Объединенный научный совет АН СССР по комплексной проблеме «Физика твердого тела», его председателем стал академик Георгий Вячеславович Курдюмов, который возглавлял Совет в течение почти 30 лет. В соста-

ве Совета изначально было 5 секций: «Теория твердого тела», «Физика прочности и пластичности», «Образование и структура кристаллов», «Физика высоких давлений», «Физика магнитных явлений». А уже в восьмидесятые годы Объединенный совет состоял из 11 научных советов по более узким проблемам: «Теория твердого тела», академик Л. В. Келдыш; «Физика прочности и пластичности», академик Г. В. Курдюмов; «Образование и структура кристаллов», академик Б. К. Вайнштейн; «Физика высоких давлений», д-р физ.-мат. наук Е. Г. Понятовский; «Физика магнитных явлений», академик С. В. Вонсовский; «Радиоспектроскопия конденсированных сред», академик А. М. Прохоров; «Радиационная физика твердого тела», академик Э. Л. Андроникашвили; «Физика сегнетоэлектриков и диэлектриков», чл.-корр. Г. А. Смоленский; «Неразрушающие физические методы контроля», чл.-корр. М. Н. Михеев; «Рентгеновская и электронная спектроскопия», академик В. В. Немошкаленко; «Физика низких температур», чл.-корр. А. Ф. Андреев (Постановление Президиума АН СССР № 791-99-11000 от 26.06.1985 г.).

В 1988 г. председателем Совета стал ученик Г. В. Курдюмова, академик Юрий Андреевич Осипьян. В 1993 г. с образованием Российской академии наук, в ходе реорганизации в структурах Академии Объединенный научный совет АН СССР по комплексной проблеме «Физика твердого тела» был преобразован в Научный совет РАН по физике конденсированных сред под председательством академика Ю. А. Осипьяна. В 2008 г. Совет возглавил ученик Ю. А. Осипьяна, чл.-корр. РАН Виталий Владимирович Кведер.

В настоящее время в состав Совета входят 10 секций:

- «Теория твердого тела» (председатель – академик Ю. В. Копаев);
- «Нанотехнологии и наноматериалы» (председатель – чл.-корр. РАН М. И. Карпов);
- «Образование и структура кристаллов» (председатель – академик В. В. Осико);
- «Физика высоких давлений» (председатель – д-р физ.-мат. наук В. Е. Антонов);

- «Магнетизм» (председатель – чл.-корр. РАН Л. А. Прозорова);
- «Физика сегнетоэлектриков и диэлектриков» (председатель – академик А. С. Сигов);
- «Физика поверхности» (председатель – д-р физ.-мат. наук К. Н. Ельцов);
- «Неразрушающие физические методы контроля» (председатель – чл.-корр. РАН В. Е. Щербинин);
- «Исследование конденсированных сред ядерно-физическими методами» (председатель – чл.-корр. РАН М. В. Ковальчук);
- «Физика прочности и пластичности материалов» (сопредседатели – д-р физ.-мат. наук В. И. Бетехтин, д-р физ.-мат. наук А. М. Глезер).

Совет ведет большую научно-организационную работу по следующим направлениям:

- определение приоритетных научных направлений деятельности Совета;
- взаимодействие с международными и российскими научными организациями, рассмотрение и поддержка обращений ученых об их участии в международных конференциях и семинарах, о присвоении почетных званий, присуждении премий и т.д.;
- экспертная работа научных проектов в рамках ряда федеральных целевых программ, программ фундаментальных исследований Президиума и отделений РАН в рамках тематики Совета;
- сотрудничество с Российским фондом фундаментальных исследований, Министерством образования и науки РФ, другими организациями и ведомствами, в том числе в рамках различных научных советов и комиссий;
- работа по поддержанию интернет-сайта Совета (<http://sovetsks.issp.ras.ru>), где размещены информация о его структуре, научно-организационной деятельности, конференциях, проводимых по тематике Совета, фоторепортажи, новости науки;
- работа по подготовке предложений в План мероприятий РАН и научно-организационных отчетов о деятельности Совета.

Одним из основных направлений деятельности Совета является организация и проведение конференций, симпозиумов и школ по его тематике. Все последние годы члены секций уделяют повышенное внимание вопросу повышения интереса молодежи к науке. В рамках тематики Совета проходят школы, лектории для молодых ученых. Практически на всех крупных конференциях выделяется время для молодежных сообщений. Лучшие работы отмечают дипломами, призами и денежными премиями. Совет осуществляет координацию публикаций по материалам конференций в журнале «Известия РАН. Серия физическая».

После многолетнего перерыва Совет возобновил проведение выездных сессий, целью которых являются взаимодействие фундаментальной науки и образования, координация научных исследований, выполняемых учреждениями и организациями различного ведомственного подчинения, межрегиональная интеграция фундаментальных и прикладных исследований. Информация о выездных сессиях Совета также размещены на его сайте.

Научный совет по физике конденсированных сред является одним из самых больших советов в Российской академии наук, в сентябре 2012 г. он отметил свой 50-летний юбилей. Многого поменялось за эти годы, но «роль советов, интегрирующих в своем составе сотрудников Академии наук, вузов, отраслевых институтов, наукоемких производств, должна быть усилена в интересах развития науки, развития образования, развития инновационной деятельности в стране. Это – в духе традиций Академии. Но сейчас роль Советов возрастает еще в связи с введением и реализацией единой программы фундаментальных исследований» (из выступления президента РАН академика Ю. С. Осипова на общем собрании РАН 22 мая 2012 г.).

КРЕМНИЙ И ИНЖЕНЕРИЯ ДЕФЕКТОВ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В. В. Кведер

Основным материалом, используемым в солнечных батареях, является кремний (Si). Кремния очень много в природе, он нетоксичен и, в принципе, позволяет производить солнечные батареи с КПД до 24% и с большим (более 50 лет) сроком службы. Основная задача солнечной энергетики – это снижение цены киловатт-часа, производимого солнечными батареями. Для этого можно: использовать дешевый, но более грязный, исходный поликремний; удешевить изготовление ваферов (удешевить выращивание, уменьшить потери при резке); уменьшить толщину ваферов. Однако использовать дешевый кремний и поликристаллические ваферы можно, лишь используя «инженерию дефектов».

Рекомбинация в poly-Si происходит в основном на дислокациях, которые являются центрами рекомбинации и стоками для точечных дефектов и примесей. Дислокации в Si – это одномерные структуры, которые могут обладать интересными физическими свойствами. Теория говорит, что «чистые» дислокации в Si имеют реконструированные ядра и не должны приводить к быстрой e-h рекомбинации. Но при этом необходимо отличать 1D-зоны от локализованных состояний на дислокационных дефектах. Для их выделения можно использовать метод СВЧ-поглощений, но более эффективным оказался метод комбинированного спинового резонанса (эффект Рашбы). Этим методом были исследованы эффекты рекомбинации электронов и дырок на дислокациях разных типов, а также некоторые другие протяженные дефекты. Было доказано наличие 1D-зон и определены их основные параметры (температурная зависимость подвижности, длина локализации, g-факторы 1D-электронов и дырок, энергетика и т.д.). Резонансный нагрев спиновой системы приводил к изменению проводимости на нерезонансной частоте. Кроме того, наблюдались резонансы на гармониках. Спектры оптического возбуждения «комбинированного резонанса» позволяли определить глубину 1D-зон. Были исследованы эффекты e-h рекомбинации на дислокациях, а именно: за-

хват свободных электронов и дырок в 1D-зоны; их движение вдоль дислокации и захват из 1D-зон на глубокие уровни; эффекты рекомбинации. Было показано, что сами 1D-зоны дают очень малую скорость рекомбинации при 300К. Однако они усиливают рекомбинацию через глубокие локализованные состояния, обусловленные примесями и дефектами на дислокации. Были предложены способы очистки дислокаций методом гетерирования.

ГИДРАТЫ ВОДОРОДА И УГЛЕВОДОРОДЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В. Е. Антонов

Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка

Углеводороды высокого давления. С момента открытия графена [1, 2], представляющего собой плоский монослой атомов углерода, возник большой интерес к синтезу химически модифицированных листов углерода. Для повышения стабильности графена, представляющего собой лист графита, был предложен способ его насыщения адсорбированным водородом [3, 4]. Экспериментально это достигалось методом обратимого гидрирования однослойного графена [5]. Были обнаружены кардинальные изменения его физических свойств, которые вызывались изменением электронной и атомной структуры графена. Было установлено, что под давлением водорода в 75 кбар и при температуре 450°C в составе графита образуются соединения с составом C_nH . Это соединение устойчиво в вакууме до 550–600°C. В результате гидрирования расстояние между слоями графена увеличивается на 40%, а после дегидрирования уменьшается до первоначального значения. Колебательный спектр гидрогенизированного графита изучался методом рассеяния нейтронов. В результате было показано, что гидрогенизированное состояние графита является продуктом ковалентного связывания атомов водорода и атомов углерода, которые остаются связанными и в графеновых слоях.

Гидраты водорода высокого давления. Водород и вода – одни из основных строительных материалов многих планет. Преобразованные гидраты могут играть ключевую роль в эволюции ледяных космических тел. Исследования гидратов водорода являются наиболее привлекательными при давлениях до нескольких кбар, что соответствует внутреннему состоянию малых ледяных спутников. При этом поднимается проблема термической стабильности гидратов водорода в вакууме. Было показано, что гидраты образуются в интервале давлений 1–3.6 кбар. Элементарная ячейка $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2$ состоит из 136 молекул H_2O и может вместить до 48 молекул H_2 . При повышении давления наблюдалось образование трех различных фаз формирования кристаллической структуры гидратов. При давлении 31 кбар возникала алмазоподобная структура H_2O .

Список литературы

1. *Novoselov K. S., Geim A. K., Morozov S. V., Jiang D., Zhangl Y., Dubonos S. V., Grigorieva I. V., Firsov A. A.* Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films // *Science*. 2004. Vol. 306. P. 666.
2. *Geim A. K., Novoselov K. S.* The rise of graphene (PDF 1.3MB) // *Nat. Mater.* 2007. Vol. 6. P. 183.
3. *Sluiter M. H. F., Kawazoe Y.* Cluster expansion method for adsorption : Application to hydrogen chemisorption on grapheme // *Phys. Rev.* 2003. Vol. B 68, P. 085410.
4. *Sofa J. O., Chaudhari A. S., Barber G. D.* Graphane : A two-dimensional hydrocarbon // *Phys. Rev.* 2007. Vol. B 75. P. 153401.
5. *Elias D. C., Nair R. R., Mohiuddin T. M. G., Morozov S. V., Blake P., Halsall M. P., Ferrari A. C., Boukhvalov D. W., Katsnelson M. I., Geim A. K., Novoselov K. S.* Control of Graphene's Properties by Reversible Hydrogenation: Evidence for Graphane // *Science*. 2009. Vol. 323. P. 610.

ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ СВЧ-ДИАПАЗОНА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУР И НАНОКОМПОЗИТОВ

А. В. Скрипаль

Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

В последнее время растет интерес к исследованиям нового класса периодических структур, называемых «фотонными кристаллами». Эти структуры состоят из периодически расположенных составляющих, размеры которых сравнимы с длиной волны распространяющегося в них электромагнитного излучения. В спектре пропускания такой структуры имеется частотная область, запрещенная для распространения электромагнитной волны, – аналог запрещенной зоны в кристаллах. При наличии нарушений в периодичности слоистой структуры в запрещенной зоне фотонного кристалла могут возникать узкие «окна» прозрачности [1]. В СВЧ-диапазоне одномерный фотонный кристалл может быть реализован с помощью как волноводов с диэлектрическим заполнением [2, 3], так и планарных линий передачи с периодически изменяющейся структурой [4–6].

Исследованию особенностей взаимодействия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона с фотонными структурами, содержащими включения в виде полупроводниковых и нанометровых металлических наноструктур и нанокомпозитов, решению обратной задачи – нахождению электропроводности, толщины, комплексной диэлектрической проницаемости включений в виде полупроводниковых и нанометровых металлических наноструктур и нанокомпозитов по результатам измерений спектров отражения и прохождения, взаимодействующего с ними СВЧ-излучения, и посвящена предлагаемая работа.

Одномерные СВЧ фотонные кристаллы представляют собой структуры с периодическими неоднородностями. При наличии в такой структуре дефекта,

нарушающего периодичность, в фотонной запрещенной зоне может проявляться резонансная особенность, называемая примесной модой колебаний. Роль такого дефекта могут выполнять полупроводниковые и нанометровые металлические наноструктуры и наноконпозиты с искомыми параметрами. Для расчета коэффициентов отражения R и прохождения D электромагнитной волны при ее нормальном падении на многослойную структуру, полностью заполняющую волновод по поперечному сечению, с плоскостями слоев, перпендикулярных направлению распространения излучения, использовалась матрица передачи волны между областями с различными значениями постоянной распространения электромагнитной волны [7].

Для нахождения искоемых параметров исследуемых образцов по частотным зависимостям коэффициентов прохождения $D(f)$ и отражения $R(f)$ был использован метод наименьших квадратов, при реализации которого находится такое значение искоемых параметров, когда сумма квадратов разностей расчетных и экспериментальных значений коэффициентов пропускания и отражения становится минимальной.

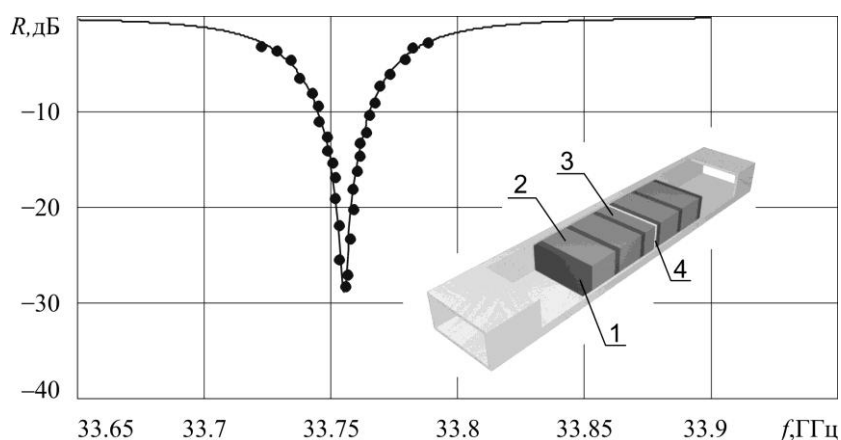
Практически важной задачей микро- и наноэлектроники является одновременное определение электропроводности и толщины тонкого сильно легированного полупроводникового слоя, сформированного на полуизолирующей подложке. Для одновременного определения электропроводности и толщины полупроводниковых слоев необходимо устранить неоднозначность при решении обратной задачи, основанной на использовании частотных зависимостей коэффициентов отражения $D(f)$ и прохождения $D(f)$ СВЧ-излучения, взаимодействующего с исследуемой структурой при ее введении в структуру фотонного кристалла.

С этой целью предлагается проводить измерения при двух различных температурах или при двух различных положениях вводимого в структуру фотонного кристалла измеряемого полупроводникового слоя.

С целью повышения разрешающей способности предлагаемого метода измерений моделировался одномерный волноводный фотонный кристалл,

состоящий из одиннадцати слоев, в диапазоне частот 27–40 ГГц. Толщина измеряемого полупроводникового слоя при решении тестовых задач варьировалась в диапазоне от 100 нм до 10,0 мкм.

На рисунке представлены частотные зависимости тестовых (точки) и рассчитанных (линия) значений коэффициента отражения, полученные с использованием найденных значений толщины $t_{иск}=105$ нм и электропроводности $\sigma_{иск}=10,08 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ измеряемого полупроводникового слоя. Относительная погрешность определения толщины образца по тестовым данным составила $\pm 5\%$, электропроводности – $\pm 0,8\%$.



Частотные зависимости тестовых (точки) и рассчитанных (линия) значений коэффициента отражения, полученные с использованием найденных значений параметров $t_{иск}=105$ нм и электропроводностью $\sigma_{иск}=1008 \text{ }\Omega^{-1}\text{м}^{-1}$. На вставке: одномерный волноводный фотонный кристалл: 1 – слой поликора, 2 – слой воздуха, 3 – нарушенный воздушный слой, 4 – полупроводниковый слой

Определение электрофизических свойств композитов на основе диэлектрических матриц и входящих в их состав углеродных нанотрубок по спектрам пропускания электромагнитного излучения СВЧ-диапазона, взаимодействующего с микрополосковой фотонной структурой с исследуемым композитом, основано на последовательном решении двух обратных задач. В результате решения первой обратной задачи определяется комплексная диэлектрическая проницаемость композита, созданного на основе эпоксидного двухкомпонентного клея с различной объемной концентрацией включений в виде многослойных углеродных нанотрубок. В

результате решения второй обратной задачи по зависимости комплексной диэлектрической проницаемости композита от объемной доли входящих в состав композита углеродных нанотрубок определяется их диэлектрическая проницаемость и среднее значение удельной объемной электропроводности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (госконтракт № 11.G34.31.0030), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (госконтракт № 16.740.11.0512).

Список литературы

1. *Yablonovitch E., Gmitter T. J., Meade R. D., Rappe A. M., Brommer K. D., Jannopoulos J. D.* Donor and acceptor modes in photonic band structure // *Phys. Rev. Lett.* 1991. Vol. 67, №. 24. P. 3380–3383.
2. *Kuriazidou C. A., Contopanagos H. F., Alexopolos N. G.* Monolithic waveguide filters using printed photonic-bandgap materials // *IEEE Transactions on microwave theory and techniques.* 2001. Vol. 49, № 2. P. 297–306.
3. *Usanov D. A., Skripal Al. V., Abramov A. V., Bogolyubov A. S., Skvortsov V. S., Merdanov M. K.* Measurement of the Metal Nanometer Layer Parameters on Dielectric Substrates using Photonic Crystals based on the Waveguide Structures with Controlled Irregularity in the Microwave Band // *Proc. of 37rd European Microwave Conference.* Munich, Germany. 2007. P. 198–201.
4. *Tae-Yeoul, Kai Chang.* Uniplanar one-dimensional photonic-bandgap structures and resonators // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.* 2001. Vol. 49, № 3. P. 549–553.
5. *Гуляев Ю. В., Никитов С. А.* Фотонные и магнитофотонные кристаллы – новая среда для передачи информации // *Радиотехника.* 2003. № 8. С. 26–30.

6. Беляев Б. А., Волошин А. С., Шабанов В. Ф. Исследование микрополосковых аналогов полосно-пропускающих фильтров на одномерных фотонных кристаллах // Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51, № 6. С. 694–701.

7. Гуляев Ю. В., Никитов С. А., Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Постельга А. Э., Пономарев Д. В. Определение параметров тонких полупроводниковых слоев с использованием одномерных СВЧ фотонных кристаллов // Докл. РАН. 2012. Т. 443, № 5. С. 564–566.

ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ 1–8 НМ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНЫХ МЕТОДОВ ЭПР

К. М. Салихов

Казанский физико-технический институт Казанского научного центра РАН

Методика электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) эффективно применяется при исследовании систем с парамагнитными центрами. К ним относятся: разделенные заряды в реакционном центре фотосинтеза; белки, ДНК, РНК, пептиды с парамагнитными метками; бирадикалы; самоорганизация примесных центров в лазерных кристаллах и пр. Это обусловлено тем, что в спектроскопии ЭПР проявляется магнитное диполь-дипольное взаимодействие между парамагнитными центрами. Масштаб неоднородного уширения линий ЭПР в твердых телах в большинстве случаев много больше 1 мТл. В этом случае используется стационарный спектр ЭПР. В противном случае более эффективными оказываются импульсные методы ЭПР, которые основаны на измерении первичного спинового эха, стимулированного спинового эха и двойного электрон-электронного резонанса (ДЭЭР). Метод ДЭЭР позволяет проводить измерения расстояний между радикалами в бирадикалах, используя модуляцию спада сигнала для полиориентированных пар спи-

нов, а также применяя Фурье-образ спада сигнала ДЭЭР-пар в полиориентированной системе.

Таким образом, была показана эффективность применения импульсного ДЭЭР для получения информации о структуре в некристаллических системах. В частности, методы ДЭЭР могут применяться для адресного спинового мечения белков, ДНК, РНК, а также пептидов, супермолекул и комплексов в мембранах. Данные методы можно использовать в радиационной фотохимии при исследовании радикальных и ионных пар, а также при изучении пространственного распределения сложных спиновых систем. Широкое применение методы импульсного ДЭЭР могут найти при исследовании различных типов наносистем.

БЛИЖНЕПОЛЕВАЯ СВЧ-МИКРОСКОПИЯ. ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАНООБЪЕКТОВ

Д. А. Усанов

Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

В процессе создания структур твердотельной микро- и наноэлектроники немаловажное значение имеют операции контроля. Одним из способов такого контроля является ближнеполевая СВЧ-сканирующая микроскопия. Этот вид микроскопии имеет ряд преимуществ, среди которых – отсутствие квантовых эффектов поглощения излучения веществом исследуемого объекта, прозрачность в СВЧ-диапазоне многих оптически непрозрачных веществ. Он особенно предпочтителен при отладке технологии производства микроэлектронных устройств, предназначенных для использования именно в СВЧ-диапазоне, так как параметры материалов и структур измеряются на тех же частотах, на которых они будут использованы [1]. Таким образом, если даже СВЧ-ближнеполевая микроскопия и не заменяет других видов контроля и ис-

следования, то как минимум гармонично их дополняет. Результаты измерений с помощью ближнеполевого сканирующего СВЧ-микроскопа могут быть успешно использованы при изучении сверхпроводимости, эффектов, связанных с распространением спиновых волн, плазмонов, эффекта Джозефсона и т.д. Высокое разрешение ближнеполевых сканирующих СВЧ-микроскопов позволяет локализовать области дефектов в интегральной схеме.

Основным элементом ближнеполевого СВЧ-микроскопа, обеспечивающим в большей мере его высокую чувствительность и разрешающую способность, авторы [1] назвали связанный с зондом СВЧ-резонатор. По характеристикам резонатора (резонансной частоты и добротности) в процессе сканирования исследуемого образца можно судить о его топологии и изменении свойств материала подложки от точки к точке.

В работе [2] показана возможность создания СВЧ-резонаторов на основе так называемых низкоразмерных резонансных систем и обнаружена их высокая чувствительность к возмущающим воздействиям. Резонансы в таких системах объяснены возбуждением в них высших типов колебаний. Так как один из размеров такого рода резонаторов намного меньше длины волны основного типа, они были названы низкоразмерными [3]. Вносимое в низкоразмерный резонатор малое возмущение, изменяющее его электрическую длину, приводит к значительному изменению его характеристик, что и демонстрировалось в работах [2, 3].

В работе [4] была показана возможность создания СВЧ-резонаторов на основе систем «штырь с зазором – близко расположенный короткозамыкатель» и обнаружена их высокая чувствительность к возмущающим воздействиям.

В рассмотренной авторами статьи [5] конструкции резонатором являлась система близко расположенных индуктивной и емкостной диафрагм. Для иллюстрации возможностей описанного микроскопа выбрана используемая в акустических линиях задержки и фильтрах на поверхностных акустических волнах структура из ниобата лития с нанесенной на него ме-

таллизацией в виде встречно-штыревой алюминиевой системы с периодом 0.5 мкм (рис. 1). Зонд устанавливался на расстоянии 2 мкм от исследуемой структуры.

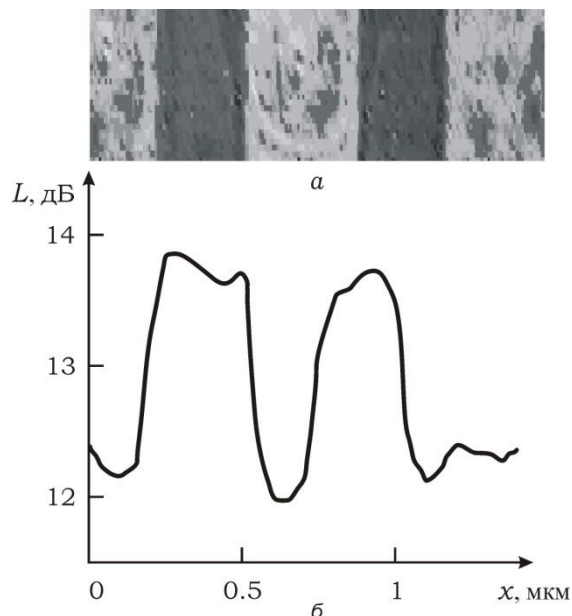


Рис. 1 Структура из ниобата лития с нанесенной металлизацией

На рис. 1 приведена экспериментальная зависимость потерь L , соответствующих пику резонанса, от смещения измерительного зонда вдоль оси x . При смещении зонда глубина резонанса изменялась, что позволило судить о разрешении металлических элементов исследуемой структуры с шириной около 0,5 мкм.

При непосредственном подключении зонда ближнеполевого СВЧ-микроскопа к СВЧ-генератору без использования элементов развязки может быть создана автодинная система, в которой реализуется так называемый эффект автодинного детектирования, при котором активный элемент СВЧ-генератора является одновременно источником и приемником отраженной электромагнитной волны [6]. Применение эффекта автодинного детектирования в полупроводниковых СВЧ-генераторах для контроля параметров материалов основано на установлении зависимостей величины продетектиро-

ванного сигнала от параметров контролируемых слоев, например, толщины, диэлектрической проницаемости, электропроводности [7–9].

Полупроводниковый автодин выполнен в виде СВЧ-генератора (X-диапазон) на основе короткозамкнутого отрезка волновода. В качестве активного элемента использовался диод Ганна типа 3A723, помещенный в зазор стержневого держателя. Сигнал автодинного генератора контролировался с помощью детекторного диода типа 2A203. Продетектированный сигнал через аналого-цифровой преобразователь передавался в компьютер и обрабатывался при помощи специального программного обеспечения.

СВЧ-зонд был выполнен на основе микрокоаксиально-волноводного перехода с отрезком микрокоаксиала, центральный проводник которого выступает за пределы внешнего проводника микрокоаксиала на величину ~ 560 мкм. Конец центрального проводника микрокоаксиального зонда выполнялся заостренным с постепенно уменьшающимся диаметром до величины 2,5 мкм. Внутренняя (невыступающая) часть центрального проводника помещалась в диэлектрический конус. При проведении измерений образец располагался на подвижной измерительной площадке вблизи заостренного конца микрокоаксиального зонда на расстоянии 20 мкм.

Если поверхность образца обладает рельефом или образец является неоднородным по своим электрофизическим характеристикам (электропроводность, диэлектрическая проницаемость), то при перемещении зонда вдоль поверхности образца изменяются амплитуда и фаза отраженной электромагнитной волны и тем самым изменяется величина сигнала, фиксируемого детекторным диодом. При сканировании исследуемого образца сигнал с детекторного диода через АЦП передавался в компьютер, где с помощью специального программного обеспечения с учетом величины сигналов, управляющих линейными трансляторами, формировался трехмерный массив данных, позволяющий получить графическое представление свойств исследуемого образца.

На рис. 2 приведены результаты визуализации поверхности керамической пластины с изображением юбилейного знака Саратовского государственного университета с помощью ближнеполевого СВЧ-микроскопа.



Рис. 2. Результаты визуализации поверхности керамической пластины с изображением юбилейного знака СГУ

Для демонстрации возможности применения ближнеполевого СВЧ-микроскопа на основе полупроводникового автодинного генератора на диоде Ганна к задачам подповерхностного зондирования была использована керамическая пластина с изображением юбилейного знака Саратовского государственного университета, покрытым слоем графита толщиной 0,8 мкм и удельной электропроводностью $10^3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ (рис. 3).



Рис. 3. Фотография пластины с юбилейным знаком СГУ, фрагмент которого покрыт слоем графита

На рис. 4 приведены результаты визуализации фрагмента юбилейного знака, покрытого слоем графита, с помощью ближнеполевого СВЧ-микроскопа. Шаг сканирования составлял 2,0 мкм по обоим направлениям в плоскости образца.

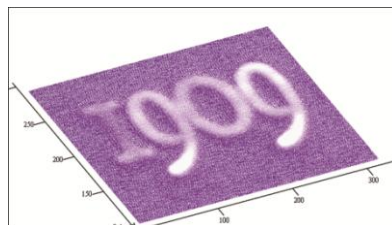


Рис. 4. Результаты визуализации фрагмента юбилейного знака, покрытого слоем графита

Как следует из результатов, представленных на рис. 3, 4, трудноразрешимая в оптическом диапазоне длин волн задача подповерхностного зондирования может быть успешно решена с использованием метода ближнеполевой СВЧ-микроскопии.

Таким образом, показана возможность использования в качестве зонда в ближнеполевых СВЧ-микроскопах для повышения чувствительности и разрешающей способности низкоразмерных СВЧ-резонаторов на основе систем «штырь с зазором – близко расположенный короткозамыкатель» и системы «индуктивная диафрагма – емкостная диафрагма». Приведено описание ближнеполевого СВЧ-микроскопа на основе полупроводникового автодинного генератора на диоде Ганна. Продемонстрирована возможность визуализировать с высоким пространственным разрешением рельеф и электрофизические свойства поверхности керамической пластины с нанесенным нанометровым слоем металла как в режиме прямого доступа к объекту сканирования, так и в режиме подповерхностного зондирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего

профессионального образования (госконтракт № 11.G34.31.0030), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (госконтракт № 16.740.11.0512).

Список литературы

1. Anlage S. M., Steinhauer D. E., Feenstra B. J., Vlahacos C. P., Wellstood F. C. «Near-field microwave microscopy of materials properties» in Microwave Superconductivity / eds. H. Weinstock, M. Nisenoff. Amsterdam: Kluwer, 2001. P. 239–269.
2. Усанов Д. А., Горбатов С. С., Вениг С. Б., Орлов В. Е. Резонансы в полубесконечном волноводе с диафрагмой, связанные с возбуждением волн высших типов // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26, № 18. С. 47–49.
3. Усанов Д. А., Горбатов С. С. Резонансы в волноводной системе «штырь с зазором – близкорасположенный поршень» // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2006. Т. 49, № 2. С. 27–33.
4. Усанов Д. А., Горбатов С. С. Резонансы в системах диафрагма – короткозамыкающий поршень // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2001. Т. 4, № 3. С. 13–20.
5. Усанов Д. А., Горбатов С. С., Кваско В. Ю. Ближнеполевой СВЧ-микроскоп с низкоразмерным резонатором типа «индуктивная диафрагма – емкостная диафрагма» // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2010. № 6. С. 66–69.
6. Усанов Д. А., Скрипаль Ал. В., Скрипаль Ан. В. Физика полупроводниковых радиочастотных и оптических автодинов. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2003. 312 с.
7. Усанов Д. А., Скрипаль А. В. Физика работы полупроводниковых приборов в схемах СВЧ. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1999. 376 с.
8. Усанов Д. А., Коротин Б. Н. Устройство для измерения толщины металлических пленок, нанесенных на диэлектрическую основу // ПТЭ. 1985. № 1. С. 254.
9. Усанов Д. А., Тушкин В. Д., Скрипаль А. В., Коротин Б. Н. Использование эффекта автодинного детектирования в полупроводниковых СВЧ генерато-

рах для создания устройств радиоволнового контроля // Дефектоскопия. 1995. № 5. С. 16–20.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ НА УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ

**Ю. В. Гуляев¹, Н. И. Сеницын², О. Е. Глухова³, Г. В. Торгашов²,
В. П. Кудряшов⁴**

¹*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва*

²*Саратовский филиал Института радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН*

³*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского*

⁴*ОАО «Алмаз», Саратов*

Направление конструирования электронных устройств на углеродных наноструктурах является одним из самых перспективных. Только в 2012 г. высокотехнологичные компании представили несколько новых разработок в области приборостроения на базе углеродных наноструктур: гибкий дисплей с пластиковой основой, созданный с применением технологии «электронных чернил» (LG Display); «электронно-бумажный дисплей» с прозрачным электродом из углеродных нанотрубок (УНТ), разработанный Unidym; органический светодиод на УНТ, излучающий при прохождении тока даже при растяжении на 45% (UCLA); новое поколение электродов, в которых источником электролюминесценции служит зеленый люминофор ZnS:Cu,Al с добавлением однослойных УНТ, существенно снижающих напряжение, обеспечивающее детектируемый уровень электролюминесценции.

В Саратовском филиале Института радиотехники и электроники (ИРЭ) РАН с 1992 г. исследуются и разрабатываются новые технологии синтеза УНТ, а также их эмиссионные свойства [1, 2]. На сегодняшний день успешно применяются методы: плазмохимического каталитического газофазного осаждения; каталитического высокотемпературного пиролиза; распыления из

графитовой мишени. Созданы технологии получения в макроскопическом объеме пленок с УНТ заданного диаметра, длины и слойности, меандров с заданной топологией УНТ на подложке. В частности, в импульсном режиме для образцов СУ-2000-Cr-Fe-УНТ в режиме с длительностью импульса 8 мкс и скважностью 160 достигается плотность атоэмиссионного тока $2,4 \text{ А/см}^2$. На базе синтезируемых УНТ разработаны совместно с ОАО «Алмаз» матричные атоэмиссионные катоды для СВЧ-приборов см-диапазона (рис. 1): минимальная пороговая напряженность – 2 В/мкм , рабочая – $5..10 \text{ В/мкм}$; плотность тока в импульсе – 15 А/см^2 ; долговечность – до 2000 ч.

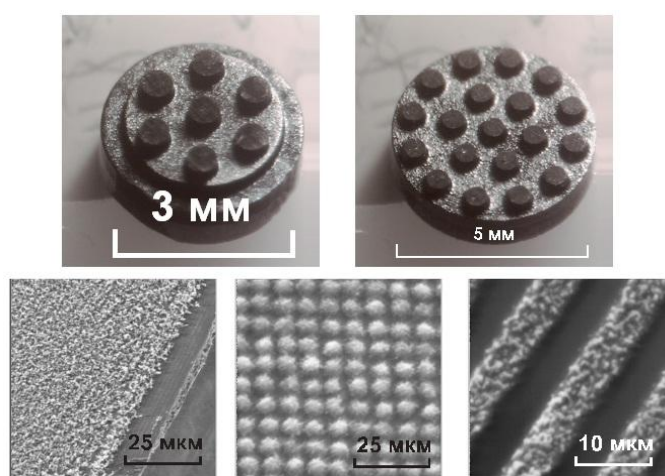


Рис. 1. Матричные катоды на основе УНТ

Среди новых приложений углеродных наноструктур, открытых авторами [3–5], наиболее перспективными являются: разработка замедляющей системы (ЗС) ТГц-диапазона, характеризующейся плотностью тока в ЗС в импульсном режиме до 700 А/см^2 , плотностью тока с катода на УНТ до 100 А/см^2 (рис. 2, а); герметизация УНТ комплексами органического люминофора (например, молекулами 8-оксихинолята алюминия), которая предотвращает влияние внешних факторов на люминесценцию и тем самым обеспечивает длительный срок службы экрана (рис. 2, б); конструирование автокатодов на базе пленок с бамбукоподобными УНТ. Последние синтезируются в результате обработки пленок с УНТ высокочастотной плазмой в кислородной среде (давление кислорода – $0,8 \text{ мм рт. ст.}$) в течение 20, 30, 40 и 60 с.

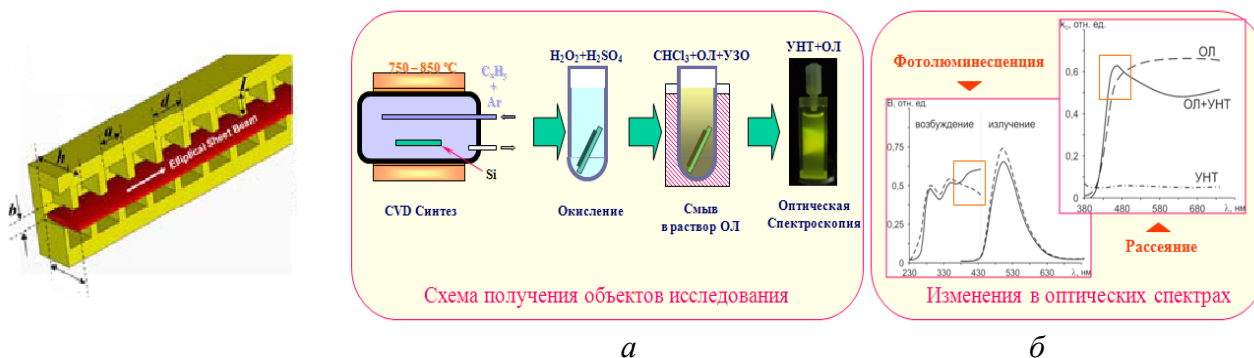


Рис. 2. Перспективные применения УНТ: *а* – ЗС ТГц-диапазона; *б* – органические люминофоры, инкапсулированные в УНТ

Проведенное нами исследование эмиссионной способности показало, что ВАХ пленок УНТ после обработки высокочастотной плазмой смещаются в область пониженных значений напряженности электрического поля. Это обстоятельство в сочетании с доказанной авторами повышенной прочностью и выдающимися механическими свойствами (модуль Юнга превышает 1 ТПа) делает бамбукоподобные трубки надежным материалом для конструирования автокатодов.

Список литературы

1. *Sinitsyn N. I., Gulyaev Yu. V., Torgashov G. V., Chernozatonskii L. A., Kosakovskaya Z. Ya., Zakharchenko Yu. F., Kiselev N. A., Musatov A. L., Zhbanov A. I., Mevlyut Sh. T., Glukhova O. E.* Thin films consisting of carbon nanotubes as a new material for emission electronics // *Applied Surface Science*. 1997. Vol. 11. P. 145–150.
2. *Gulyaev Yu. V., Sinitsyn N. I., Torgashov G. V., Mevlyut Sh. T., Zakharchenko Yu. F., Kosakovskaya Z. Ja., Chernozatonskii L. A., Glukhova O. E.* Work function estimate for electrons emitted from nanotube carbon cluster films // *J. Vac. Sci. Technol.* 1997. Vol. B 15(2), Mart/Apr. P. 422–424.
3. *Глухова О. Е., Синицын Н. И., Торгашов Г. В., Терентьев О. А., Буянова З. И.* Углеродные нанотрубки с дефектами как элементы электронных устройств // *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2007. Т. 12, № 10. С.

5760.

4. Глухова О. Е., Синицын Н. И., Торгашов Г. В., Буянова З. И., Торгашов И. Г. Изучение влияния геометрических параметров на эмиссионные свойства углеродных нанотрубок с металлической проводимостью // Нанотехника. 2007. № 1 (9). С. 3–7.

5. Глухова О. Е., Торгашов Г. В., Буянова З. И., Колесникова А. С. Упругие и электростатические свойства бамбукоподобных углеродных нанотрубок // Физика твердого тела. 2010. № 6. С. 1240–1244.

КИСЛОРОДПРОВОДЯЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ В СИСТЕМАХ $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$, ГДЕ $\text{Ln}=\text{La, Pr, Nd}$. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА

Н. И. Сорокина

Институт кристаллографии РАН, Москва

Ранее были известны кислородные проводники: структура типа флюорита – Y, Ca (стабилизированный ZrO_2) и δ (Bi_2O_3); перовскитоподобные структуры – легированный LaGaO_3 ; структура типа пирохлора – $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$, $\text{Gd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$; Bi-содержащие соединения со слоистой перовскитоподобной структурой: $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$, $\text{Bi}_4\text{V}_{2-2x}\text{Me}_x\text{O}_y$. В данной работе исследуется новое семейство соединений LAMOX на основе димолибдата лантана $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$.

Цель работы: исследование строения кубической β_{ms} -фазы соединений семейства LAMOX, существующей при комнатной температуре в стабильном или метастабильном состоянии; установление причин стабилизации высокотемпературной кубической β -фазы соединения $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ при легировании ее примесями.

На монокристаллах восьми соединений кислородпроводящего семейства LAMOX были выполнены прецизионные рентгеноструктурные исследо-

вания при разных температурах. Для проведения измерений использовались: рентгеновский дифрактометр XCalibur S ($T=293$ К и 105 К); рентгеновский дифрактометр CAD-4F «Enraf-Nonius» (комнатная температура); рентгеновский дифрактометр Huber-5042 с криостатом DISPLEX DE-202 ($T=33$ К). Было установлено, что в данной серии кристаллов нет фазовых переходов в интервале температур 33–293 К. Во всех исследованных соединениях наблюдалось смещение атомов La, Mo и O_1 относительно тройной оси, на которой находятся эти атомы в высокотемпературной кубической β -фазе. Показано, что часть атомов лантана в структурах LM, легированных Bi, замещается атомами висмута, а Sb или V частично замещают молибден. Атомы примесей не вовлечены в процесс разупорядочения и располагаются в структуре на оси третьего порядка. Установлено, что при внедрении в структуру LM атомов висмута, сурьмы или ванадия происходит перераспределение валентных усилий в структуре, аналогичное тому, которое происходит при повышении температуры. Установлено, что во всех исследованных в работе метастабильных кубических или застabilизированных кубических β_{ms} -фазах соединений семейства LAMOX атомы кислорода O_2 и O_3 находятся в статическом беспорядке. Показано, что строение и свойства монокристалла $Pr_2Mo_2O_9$ аналогичны строению и свойствам монокристалла $La_2Mo_2O_9$.

СПИН-ВОЛНОВЫЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ В ЛАТЕРАЛЬНО ПЕРИОДИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ СТРУКТУРАХ – МАГНОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

**С. А. Никитов^{1,2}, С. Л. Высоцкий^{2,3}, Ю. В. Хивинцев^{2,3},
Ю. А. Филимонов^{2,3}**

*¹Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН,
Москва*

*²Лаборатория метаматериалов Саратовского государственного
университета имени Н.Г. Чернышевского*

Рассматриваются результаты исследования свойств спин-волновых возбуждений в латерально-периодических магнитных структурах – магнетонных кристаллах (МК). Магнетонные кристаллы являются СВЧ-аналогами фотонных и фононных кристаллов. При этом спиновые волны (СВ) имеют ряд существенных отличий от оптических и акустических волн в твердых телах. В частности, СВ могут демонстрировать разнообразные нелинейные эффекты, анизотропное и невзаимное распространение даже в изотропных магнитных материалах. Кроме того, в МК на основе магнестрикционных материалов следует ожидать проявления эффектов резонансного взаимодействия колебаний магнитной и упругой подсистем. Отмеченные особенности СВ применительно к МК практически не изучены, и их исследование представляет как фундаментальный, так и практический интерес для создания устройств обработки сигналов на СВЧ.

В работе рассматриваются результаты последних исследований распространяющихся и пространственно локализованных спин-волновых возбуждений в тонкопленочных магнитных структурах с одно- (1D) и двухмерной (2D) периодической структурой в плоскости пленки. В частности, обсуждаются явления анизотропной брэгговской дифракции и квантование спектра СВ, влияние металлизации магнетонного кристалла и процессов параметрической неустойчивости СВ на условия существования брэгговских резонансов. Определенное внимание уделяется распространению магнитоупругих волн в эпитаксиальной структуре железоиттриевый гранат (ЖИГ)/гадолиний галлиевый гранат (ГГГ) с периодической 1D микроструктурой на поверхности ЖИГ и в 1D магнетонных кристаллах со структурным дефектом. Также обсуждаются результаты исследований локализованных СВ мод в МК на основе пленок ферромагнитных металлов: в пленках пермаллоя, осажденных на немагнитную профилированную подложку, двухкомпонентных МК на основе пленок кобальта и пермаллоя и решетках ферромагнитных античастиц.

Распространение спиновых волн в пленках ЖИГ/ГГГ с пространственной модуляцией параметров существенно определяется эффектами брэгговского рассеяния СВ. При этом брэгговские резонансы приводят к зонной структуре спектра СВ. На примере слоистой структуры металл – магнетонный кристалл показано, что такая зонная структура спектра определяется граничными условиями СВ. В частности, для поверхностных спиновых волн, характеризующихся невзаимным распространением в пленках ЖИГ, металлизация поверхности пленки ЖИГ может приводить к разрушению брэгговских резонансов.

Рассмотрена неколлинеарная брэгговская дифракция СВ в магнетонных кристаллах. Показано, что для поверхностных спиновых волн, распространение которых анизотропно, неколлинеарная дифракция сопровождается сдвигом резонансных значений волновых чисел в длинноволновую область спектра, тогда как для волн, характеризующихся изотропным режимом распространения (например, прямых объемных спиновых волн), такой сдвиг, следуя соотношению Брэгга–Вульфа, происходит в коротковолновую часть спектра.

Аналогично реальным кристаллам, в которых дефекты приводят к возникновению разрешенных состояний или даже мини зон в запрещенной зоне, в МК дефекты приводят к возникновению дефектных мод. В статье рассмотрены результаты первых экспериментов по наблюдению дефектной моды в спектре поверхностных спиновых волн в одномерном кристалле с нарушенной трансляционной симметрией.

Свойства СВ в ферромагнитных пленках существенно определяются уровнем мощности. Для пленок ЖИГ, обладающих рекордно малыми потерями на СВЧ, СВ при легкодостижимых в эксперименте уровнях оказываются неустойчивы по отношению к трех- или четырехмагнетонным параметрическим процессам. При достаточно высоких уровнях мощности СВ происходит разрушение брэгговских резонансов на длине нелинейности СВ.

Рассмотрены результаты исследования распространения магнитоупругих волн в структуре ЖИГ/ГГГ с микроструктурированной поверхностью

пленки ЖИГ. Показано, что в спектре как спиновых, так и упругих волн формируются запрещенные полосы, что позволяет называть такие структуры магнон-фононными кристаллами.

Для магнонных кристаллов, характеризующихся неоднородным основным состоянием, рассмотрены экспериментальные результаты исследования так называемых локализованных спин-волновых возбуждений. К таким кристаллам можно отнести латеральные периодические структуры на основе пленок ферромагнитных металлов в виде периодических двумерных решеток из вытравленных микроотверстий. Для таких структур показано, что обычный метод ферромагнитного резонанса может быть успешно применен для изучения свойств локализованных спин-волновых мод для бикомпонентных МК, а также для решеток магнитных античастиц.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 12-07-090010-Бел-а, 11-07-00233-а, 11-07-12081-офи-м, 11-07-12052-офи-м, 12-07-00203-а), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (госконтракты № П485, № 14.740.11.0077), гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (госконтракт № 11.G34.31.0030) и 7-й рамочной программы Европейского союза в рамках гранта № 247556 (NoWaPhen).

ДИНАМИЧЕСКИЕ И НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ И В ОБЪЕМЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО ВОДОРОДА

**М. Ю. Бражников, Г. В. Колмаков, А. А. Левченко, Л. П. Межов-Деглин,
Л. В. Абдурахимов**

Институт физики твердого тела РАН, Москва

Предложена методика оптической регистрации волн на поверхности жидкости. Применение данной методики позволило экспериментально исследовать заряженную и нейтральную поверхность сжиженного водорода во внешнем поле. Исследован спектр поверхностных колебаний заряженной поверхности раздела смесей $^3\text{He}+^4\text{He}$. Измерена зависимость критического напряжения от глубины слоя жидкости. На заряженной поверхности жидкого водорода было обнаружено образование солитона, а также гейзера.

Экспериментально установлено, что переход плоской поверхности сверхтекучего гелия в нестационарном состоянии обусловлен наличием теплового потока под поверхностью жидкости. Переменный характер волны вторичного звука может вносить особенности в распределение волн на поверхности, но не определять его основные черты. Установленное явление носит пороговый характер. Нестационарное состояние является устойчивым в широком диапазоне мощностей (два порядка).

Оценка по формуле

$$Q = \rho_n V_n S T,$$

где Q – мощность выделяемая на нагревателе на см^2 ; S – энтропия жидкого гелия T , при мощности 10^{-3} Вт и температуре 1.8 К дает скорость нормальной компоненты 0.25 см/с. Такая оценка более чем на порядок отличается от оценки по формуле С. А. Коршунова.

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ ВО ФРУСТРИРОВАННЫХ СЛОИСТЫХ СПИНОВЫХ СИСТЕМАХ НА ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ

А. К. Муртазаев

Институт физики Дагестанского научного центра РАН, Махачкала

Предлагаются результаты теоретических и экспериментальных исследований фрустрированных спиновых систем (ФС). Вводится понятие критических индексов и универсальности. Показано, что класс универсальности критического поведения зависит: от размерности пространства d ; числа компонент параметра порядка n ; радиуса характерного взаимодействия; симметрии системы.

Наибольший интерес представляют критические свойства $3d$ антиферромагнитной модели Гейзенберга на слоистой треугольной решетке. Это обусловлено тем, что при изучении ФС вопрос о существовании нового кирального класса универсальности на многих решетках, в частности треугольных, до сих пор является дискуссионным. Многие важные физические свойства ФС очень зависят от геометрии решетки (от степени фрустрации). Такая зависимость может привести к сужению классов универсальности критического поведения, и этот вопрос все еще недостаточно полно изучен. Первые попытки исследования этих моделей предпринимались в то время, когда мощности вычислительных машин и используемые алгоритмы не позволяли рассчитывать критические параметры с необходимой степенью точности. До сих пор остается дискуссионным вопрос о зависимости критических индексов от изменения величины и знака межслойного обменного взаимодействия и вторых ближайших соседей.

В результате проведенных исследований обнаружено, что $3d$ фрустрированная антиферромагнитная модель Гейзенберга на слоистой треугольной решетке образует новый магнитный и киральный класс универсальности критического поведения. Показано, что класс универсальности этой модели не зависит от типа межплоскостного обменного взаимодействия. Впервые проведены высокоточные исследования $3d$ фрустрированной модели с учетом взаимодействий вторых ближайших соседей. Рассчитаны все основные статические магнитные и киральные критические индексы. Показано, что при приближении к мультикритической точке происходит модификация характера (псевдо) критического поведения.

ТЕРАГЕРЦОВАЯ НАНОПЛАЗМОНИКА

В. В. Попов

Саратовский филиал института радиотехники и электроники

им. В. А. Котельникова РАН

Полупроводниковые и графеновые двумерные электронные системы (2МЭС) поддерживают плазменные колебания (плазмоны). Возбуждение плазмонов существенно модифицирует оптические свойства наноструктурированных 2МЭС в терагерцовом (ТГц) частотном диапазоне. Поскольку длина плазменной волны в 2МЭС намного (на два-три порядка) короче длины ТГц электромагнитной волны, наноструктурированные 2МЭС могут рассматриваться как планарные метаматериалы с резонансным плазмонным откликом в ТГц частотном диапазоне. В то же время периодически наноструктурированная 2МЭС представляет собой планарный плазмонный кристалл, в котором возбуждаются коллективные плазмонные моды, распределенные на всей (макроскопической) площади образца. За счет этого коллективные плазмонные моды оказываются сильно связанными с ТГц излучением, что создает принципиальную возможность использования плазмонных кристаллов на основе 2МЭС для преобразования ТГц излучения. Ввиду малости длины волны плазмона (по сравнению с длиной ТГц волны) могут иметь место субволновая концентрация и сильное резонансное усиление ближнего ТГц поля на локальном дефекте планарного плазмонного кристалла. Электрическая перестройка плазмонного спектра в наноструктурированных 2МЭС с решеточным затвором за счет эффекта поля предоставляет уникальные возможности для исследования и бесконтактной инженерии их оптических свойств в ТГц частотном диапазоне. Нелинейные свойства плазмонов могут приводить к фотогальваническому отклику и различным типам плаз-

монных неустойчивостей в наноструктурированных 2МЭС. Указанные нелинейные эффекты возможно использовать для детектирования и генерации ТГц излучения. Усиление ближнего ТГц поля в наноструктурированных 2МЭС можно применять для ближнеполевой ТГц микроскопии. В последнее время исследования ТГц плазмонных явлений в полупроводниковых и графеновых 2МЭС интенсивно развиваются во многих ведущих научных центрах за рубежом и ряде институтов РАН.

В Саратовском филиале Института радиотехники и электроники (СФ ИРЭ) им. В. А. Котельникова РАН разрабатываются новые физические подходы к созданию детекторов ТГц излучения на основе нелинейных свойств плазменных колебаний в 2МЭС с периодическим решеточным затвором [1]. Такие устройства характеризуются в зависимости от режима их работы большой широкополосностью или частотно-селективным откликом при возможности перестройки рабочей частоты путем изменения электрического напряжения на решеточном затворном электроде. Двумерная электронная система с периодическим затворным электродом представляет собой планарный плазмонный кристалл. Показано, что в таком плазмонном кристалле возможно значительное усиление ближнего ТГц поля на субмикронных масштабах в области дефекта плазмонного кристалла, образованного за счет электрического смещения одного из электродов решеточного затвора [2]. Вследствие малой длины волны плазменных колебаний и резонансного усиления ближнего поля в дефектных плазмонных кристаллах можно осуществлять плазмонную ближнеполевую ТГц микроскопию нанообъектов с субмикронным разрешением и высокой чувствительностью.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности достижения рекордно высокой чувствительности (до 10 кВ/Вт) разрабатываемых плазмонных детекторов с решеточным затвором при комнатной температуре на частотах выше 1 ТГц [3]. В настоящее время аналогов таких детекторов в мире нет. Периодический решеточный затвор сравнительно большой площади (порядка 1 мм²) имеет сложную (асимметричную) структуру элементар-

ной ячейки с субмикронными характерными размерами. Созданные в результате совместных исследований СФ ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН и Института электросвязи Университета Тохоку в г. Сендаи (Япония), детекторные плазмонные устройства с асимметричным решеточным затвором демонстрируют рекордную чувствительность при комнатной температуре, близкую к теоретически предсказанным величинам.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (госконтракт № 11.G34.31.0030).

Список литературы

1. *Popov V. V. Plasmon excitation and plasmonic detection of terahertz radiation in the grating-gate field-effect-transistor structures // J. Infrared Millim. Terahertz Waves. 2011. Vol. 32. P. 1178.*
2. *Davoyan A. R., Popov V. V., Nikitov S. A. Tailoring terahertz near-field enhancement via two-dimensional plasmons // Phys. Rev. Lett. 2012. Vol. 108. P. 127401.*
3. *Popov V. V., Fateev D. V., Otsuji T., Meziani Y. M., Coquillat D., Knap W. Plasmonic terahertz detection by a double-grating-gate field-effect transistor structure with an asymmetric unit cell // Appl. Phys. Lett. 2011. Vol. 99. P. 243504.*

РАЗРАБОТКА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ БИОМЕТОК В МНОГОЦВЕТНЫХ ИММУНОХИМИЧЕСКИХ ТЕСТ-МЕТОДАХ

И. Ю. Горячева, Е. С. Сперанская, В. В. Гофтман

Саратовский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского

Квантовые точки (КТ) представляют собой нанокристаллы неорганического полупроводника, цвет люминесценции которых зависит от их размера. В последние годы использование КТ в качестве меток в иммуноанализе является наиболее развивающейся областью создания и применения новых меток. Коэффициент экстинкции КТ составляет 10^5 – 10^6 $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$ в зависимости от размера – это на порядок больше, чем для органических красителей. Показано, что квантовые точки в 20 раз более стабильны при фотооблучении и в 100–200 раз ярче, чем традиционные органические флуорофоры, такие как флуоресцеин и родамины.

В качестве материала для КТ могут выступать InP, InAs, GaAs, GaN, ZnS и ZnSe. Однако наибольшей популярностью пользуются КТ на основе селенида кадмия, поскольку в зависимости от размера цвет флуоресценции покрывает всю видимую область спектра. Для этого радиус ядра CdSe должен находиться в интервале 1–6 нм, т.е. меньше радиуса экситона Бора для селенида кадмия (6 нм). Время жизни люминесценции КТ составляет 30–100 нс, что больше, чем для органических красителей (1–5 нс) и фона (< 50 нс), хотя и значительно меньше, чем для эмиттеров долгоживущего излучения на основе комплексов лантана (1 мкс – 1 мс). Таким образом, время жизни люминесценции КТ существенно превышает время затухания флуоресценции фона и рамановского рассеяния для большинства матриц. Это дает возможность использовать временную селекцию для снижения фонового сигнала.

В отличие от органических флуоресцентных красителей, спектр люминесценции КТ узкий и симметричный, а полоса поглощения широкая, положение ее длинноволнового края зависит от размера ядра КТ. Такие спектральные характеристики позволяют использовать один источник возбуждения для получения эмиссии разных цветов от КТ разного размера. В перспективе КТ можно применять для одновременного определения нескольких аналитов. Использование спектрального разрешения позволяет также определять несколько аналитов в одной тест-зоне на основе спектральной селекции.

В процессе синтеза диаметр ядра селенида кадмия подбирали таким образом, чтобы получить разные цвета люминесценции. Поскольку нанокристаллы CdSe характеризуются низким квантовым выходом и не стабильны в водных растворах из-за безызлучательных процессов и фотодергадации, проводили покрытие ядер CdSe оболочкой из более широкозонного проводника, что позволило снизить вероятность безызлучательных процессов и повысить квантовый выход. В качестве оболочки использованы сульфид цинка (КТ состава CdSe/ZnS) для получения КТ с синим и зеленым цветом свечения и послойное нанесение селенида кадмия и сульфида цинка (КТ состава CdSe/CdS/ZnS) с цветом свечения от желтого до красного. Нарращивание оболочек ZnS непосредственно на ядрах CdSe приводило только к небольшому смещению в спектрах поглощения и флуоресценции в красную область (не более 10 нм).

Наиболее часто при наращивании оболочек более широкозонных полупроводников используется метод послойного наращивания (Successive Ion Layer Adsorption and Reaction (SILAR)). Суть метода заключается в попеременном добавлении прекурсоров металла и халькогенида в раствор КТ CdSe при высоких температурах. Для эффективного наращивания оболочки необходимо, чтобы ядро и оболочка имели одинаковую кристаллическую структуру и близкие параметры кристаллической решетки. Поэтому при наращивании оболочек на ядрах селенида кадмия по данному методу между селенидом кадмия и сульфидом цинка помещали слой селенида цинка или сульфида кадмия, которые имеют промежуточные между CdSe и ZnS параметры кристаллической решетки. Это приводило к тому, что наращивание оболочек CdS или ZnSe на ядрах CdSe сопровождается значительным смещением максимумов поглощения и флуоресценции в красную область спектра. Как правило, КТ структуры ядро-оболочка на основе CdSe с синим и зеленым цветом свечения не могут быть получены по методом SILAR.

Было исследовано влияние толщины оболочек и их состава на кристаллическую структуру, форму и оптические свойства полученных КТ. Полу-

ченные КТ были переведены в водные растворы с помощью 1-меркаптопропионовой кислоты. Для повышения стабильности при хранении к водным растворам КТ добавляли денатурированный бычий сывороточный альбумин. Показана стабильность полученных растворов в течение как минимум шести месяцев.

ЗАДАЧИ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ В РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

М. И. Карпов

Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка

Разработка новых поколений высокоэкономичных газотурбинных двигателей (ГТД) для нужд авиационного двигателестроения требует разработки новых жаропрочных сплавов, обеспечивающих возможность повышения температур рабочего газа на входе в турбину до 1700–1900°C (в настоящее время современные ГТД работают при температуре газа до 1300–1400°C). Достижение указанных сверхвысоких температур может быть осуществлено несколькими путями: во-первых, за счет улучшения системы охлаждения лопаток газотурбинных двигателей и, во-вторых, за счет создания жаропрочных сплавов нового поколения. Существующие в настоящее время жаропрочные сплавы на основе никеля и его интерметаллида Ni_3Al ограничены температурой эксплуатации 1150–1200°C. Имеющиеся возможности по дополнительному легированию сплавов данной системы ограничены температурой плавления основы – интерметаллида $Ni_3Al \sim 1400^\circ C$. Возможности улучшения условий охлаждения лопаток за счет совершенствования системы охлаждения также практически исчерпаны, поскольку дальнейшее увеличение отбора мощности компрессора ведет к снижению мощности двигателя. В связи с этим требуется подход, основанный на разработке принципиально новых

сплавов с использованием в качестве основы соединений с более высокой температурой плавления и, соответственно, более высокой температурой эксплуатации изделий.

В данной работе исследуются перспективы применения порошковой технологии и метода механического легирования. Исходными материалами являлись порошок ниобия марки НБП-а (ГОСТ 26252–84) и порошок алюминиевый сферический дисперсный марки АСД (СТУ 53-309–63). Готовили смеси порошков двух составов: процент по массе: 1) 5 Al + 95 Nb, что соответствует двухфазной области диаграммы (Nb-Nb₃Al); 2) 7,4 Al + 92,6 Nb, что соответствует области существования Nb₃Al. Механическое легирование проводили в шаровой планетарной мельнице. Масса навески порошка смеси каждого состава составляла 60 г, масса шаров – 600 г, длительность обработки – 20 ч (15 ч на воздухе + 5 ч в среде ацетона). Полноту легирования (отсутствие несвязанного алюминия) контролировали методом рентгеноструктурного фазового анализа. Из полученных порошков на гидравлическом прессе при давлении 300 МПа изготавливали образцы в форме дисков диаметром 40 и толщиной 5 мм и далее их спекали на специальном прессе в вакууме при температуре 1700°С и давлении 6 МПа в течение 30 мин. В результате проведенных испытаний было показано, что сплавы систем Nb-Al и Nb-Si с интерметаллидным упрочнением являются перспективной основой для создания нового поколения жаропрочных материалов. Получение таких сплавов и изделий из них возможно как плавильными методами, так и методами порошковой металлургии и путем создания искусственных композитов.

ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

**О. Н. Гадомский², Н. М. Ушаков¹, И. Д. Кособудский¹, П. А. Музалев¹,
С. В. Еськин¹, В. Я. Подвигалкин¹, Д. М. Кульбацкий³**

¹*Саратовский филиал Института радиотехники и электроники*

им. В. А. Котельникова РАН

²*Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники*

им. В. А. Котельникова РАН

³*Саратовский государственный технический университет*

Синтезирован новый полимерный композитный метаматериал для оптических приложений в диапазоне 400–900 нм на основе наночастиц серебра с размерами 15–30 нм в матрице полиметилметакрилата. Теоретически показано, что композитная пленка, активированная сферическими наночастицами, может обеспечить идеальное оптическое просветление, когда амплитуда прошедшей световой волны равна амплитуде внешней волны при разных углах падения независимо от оптических свойств подстилающей среды. Просветляющее покрытие на основе этого материала для солнечных элементов, позволяет увеличить их эффективность не менее чем на 60%.

В отличие от известных технических решений на основе интерференционных оптических покрытий покрытия на основе полимерных нанокомпозитных пленок способны обеспечивать увеличение эффективности солнечных элементов на 60% и более. В данной разработке показано, что необходимыми свойствами оптического просветления поверхности кремния обладают просветляющие наноструктурные покрытия, принцип просветления которых основан не на интерференции полей, отраженных от границ пленки, а на природе взаимодействия наночастиц в пленке между собой и с внешним излучением. При этом для широкополосного просветления исключается жесткое требование к толщине и многослойности покрытия. Природа взаимодействия оптического излучения с наноструктурными системами обусловлена индуцированием локальных дипольных моментов валентных электронов в сферических частицах, которые определяются соответствующими эффективными поляризуемостями. При этом локальные электрические поля в наноструктурных системах значительно (приблизительно в 100 раз) превосходят внешнее электрическое поле. Это позволило разработать и создать новые по-

лимерные нанокompозитные покрытия для солнечных элементов [1].

Разработанные полимерные нанокompозитные покрытия могут применяться в любых оптоэлектронных устройствах, где требуется хорошее оптическое согласование волновых полей вне и внутри устройства, то есть улучшенное просветление данных устройств. Основное применение данной разработки связано с солнечной энергетикой и предназначено для повышения эффективности преобразования солнечной энергии. Эффективное внедрение разработки возможно на предприятиях, изготавливающих фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии, а также различные оптоэлектронные устройства.

Список литературы

1. Гадомский О. Н., Алтунин К. К., Ушаков Н. М. Идеальное оптическое просветление композитных пленок, активированных сферическими наночастицами // Письма в ЖЭТФ. 2009. Т. 90, вып. 4. С. 273–278.

САМООРГАНИЗАЦИЯ АТОМОВ ХЛОРА И ХЛОРИДНЫХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ Au(111)

Б. В. Андрюшечкин

Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва

Хлоридные структуры на поверхности Au(111) могут найти широкое применение в качестве высокоэффективных катализаторов. В связи с этим представляют интерес исследования структур из атомов хлора на поверхности Au(111) от субмонослойной стадии адсорбции до насыщения. Особый интерес представляют электронные свойства – поверхностные состояния в квантовых ямах, формируемых хлором.

Для выяснения причин и механизмов модификации поверхности золота хлором проводились структурные исследования на атомном уровне с исполь-

зованием СТМ. Все эксперименты были выполнены *in situ* в условиях сверхвысокого вакуума. Напуск хлора проводился при температуре 300 К. Все СТМ измерения были выполнены на микроскопе LT STM Omicron при температуре 5–77 К. ТФП-расчеты выполнялись с использованием пакета VASP, разработанного в Техническом университете г. Вены (Австрия). Для вычислений использовался кластер МФТИ.

Исследовались виды взаимодействия между адсорбированными частицами на поверхности твердых тел: диполь-дипольное взаимодействие (отталкивание между адсорбированными частицами $\sim R^{-3}$); взаимодействие через электроны подложки $U(R) \sim \cos(2p_F R)/R^m$; упругое растяжение подложки; взаимодействие Ван-дер-Ваальса $\sim R^{-6}$. В ближней зоне, т. е. на расстояниях порядка радиуса атома, существенным оказывается взаимодействие, связанное с перекрытием оболочек атомов. Было установлено, что структура адсорбата может определяться всеми возможными видами взаимодействия и периодическим потенциалом подложки и температурой.

Таким образом, в работе были исследованы все атомные структуры, формируемые хлором на поверхности Au(111), начиная от адсорбции отдельных атомов и заканчивая насыщенным слоем. В результате были обнаружены эффекты самоорганизации структур атомов хлора как для хемосорбированных атомов, так и для молекулярных хлоридных структур.

ПРОФИЛИРОВАННЫЕ КРИСТАЛЛЫ САПФИРА ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ, ХИРУРГИИ И ДИАГНОСТИКИ

В. Н. Курлов

Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка

Главными достоинствами сапфира ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) являются: высокая температура плавления; химическая инертность; биосовместимость; оптическая

прозрачность в большом диапазоне длин волн; высокие теплопроводность, стойкость к термоудару, прочность, твердость. Эти достоинства находят широкое применение в лазерной терапии, хирургии и диагностики. Особую ценность представляет технология скоростного вытягивания профилированных кристаллов из расплава сапфира. По этой технологии были изготовлены кристаллы, по своим формам близкие к формам конечных изделий и с протяженными каналами диаметром менее 500 мкм. Такие кристаллы невозможно было получить другими методами.

В Институте физики твердого тела РАН были изготовлены: сапфировые игловые капилляры для интерстициальной фотодинамической терапии, гипертермии и коагуляции; сапфировый скальпель с возможностью флуоресцентной диагностики и коагуляции резецируемой ткани; сапфировые аппликаторы для фотодинамической терапии и лазерной коагуляции подкожных опухолей; сапфировый инструментарий для флуоресцентной нейронавигации, криотерапии, эндоскопии, доставки лазерной энергии.

Сапфировые инструменты значительно превосходят традиционные медицинские инструменты. В частности, сапфировые скальпели имеют радиус закругления режущей кромки в 20 раз меньше, чем у металлического скальпеля, выдерживают любые многократные виды стерилизации без потери режущей способности, обладают повышенной режущей способностью и длительным сроком эксплуатации в сравнении с металлическими, обеспечивают совершенную линию и ровные края разреза, минимальные повреждения структуры разрезаемых тканей и ускоренное заживление с образованием тонкого косметического послеоперационного рубца. Предложенные сапфировые инструменты позволяют усовершенствовать методы оптической диагностики, терапии и хирургии подкожных опухолей и опухолей внутренних органов, разработать более эффективные системы доставки лазерного излучения, получать воспроизводимые световые и тепловые поля в разных биологических тканях.

АВТОЭМИССИОННЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОПРИБОРЫ НА ОСНОВЕ АЛМАЗОГРАФИТОВОГО КАТОДА

Р. К. Яфаров

*Саратовский филиал Института радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН*

Основными требованиями, предъявляемыми к автокатоде и обеспечивающими надежную работу, являются: низкая работа выхода электронов, высокие плотности токоотбора и мощный теплоотвод от функционирующих эмиссионных центров. Сложность ее решения состоит в том, что, как показывает практика, ни один из известных природных материалов не может выдержать подобных условий эксплуатации. Из-за больших тепловыделений при минимальном сечении теплоотвода от функционирующих эмиссионных центров (микровыступов) они деформируются, разрушаются с образованием новых эмиссионных центров и т. д. вплоть до их полного исчезновения или нарушения электронно-оптических условий для поддержания эффективной электронной эмиссии.

В настоящее время наиболее перспективным материалом для автокатодов являются углеродные структуры. Их перспективность обусловлена устойчивостью к бомбардировке ионами остаточных газов, которая имеет место в приборах, работающих в условиях технического вакуума и высоковольтного питания, а также возможностью снижения работы выхода электронов при определенных структурных модификациях, характерных как для алмазного типа гибридизации связей валентных электронов атомов углерода, так и для «открытых» углеродных нанотрубок с графитовым типом структуры [1].

Осаждение углеродных структур автокатодов осуществлялось в плазме СВЧ-газового разряда паров этанола по методике, описанной в [1]. Верхний

и нижний изолирующие слои изготавливались осаждением в СВЧ-плазме газовой смеси моносилана и этанола аморфного гидрогенизированного карбида кремния состава $\text{Si}_{0,8}\text{C}_{0,2}$. Для получения «свеса» торца углеродной пленки, предназначенного для усиления электрического поля в зазоре между катодом и анодом, после проведения фотолитографии для создания контролируемого по величине зазора между катодом и анодом трехслойная структура подвергалась СВЧ-плазмохимическому травлению с управляемой анизотропностью. Управление анизотропностью осуществлялось изменением рабочего давления в плазме СВЧ-газового разряда CF_4 [2].

Исследования планарной и тангенциальной автоэмиссии из полученных наноалмазграфитовых пленочных структур показали, что при расстоянии между катодом (пленкой) и анодом, представляющим собой цилиндр диаметром 3 мм, изготовленный из углеродного материала МПГ-6, равном величине зазора в диоде с тангенциальным токоотбором, порог напряженности электрического поля начала автоэмиссии при тангенциальном токоотборе по сравнению с планарной автоэмиссией уменьшается с 8–10 до 3–5 В/μм. Напряженность поля начала планарной автоэмиссии из графитоподобных пленок составила 25–40 В/μм. Плотность тока при планарной автоэмиссии из катодных матриц, изготовленных на основе наноалмазграфитовых структур, достигала 2 А/см². При тангенциальном токоотборе с оптимальными параметрами конструкции диода с наноалмазграфитового эмиттера плотность автоэмиссионного тока составила 20 А/см² при напряжении между катодом и анодом 300 В.

Таким образом, торцевая автоэмиссия за счет дополнительного усиления электрического поля в зазоре катод – анод позволяет получать заданный эмиссионный ток при значительно меньших рабочих напряжениях. В тангенциальных источниках электронов критичность напряженности поля порога автоэмиссии к изменению (флуктуации) аспектного отношения возрастает при уменьшении расстояния между катодом и анодом, что необходимо учи-

тывать для обеспечения воспроизводимости их характеристик в групповом и массовом производстве.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (госконтракт № 02.740.11.0795).

Список литературы

1. Яфаров Р. К. Получение наноалмазных композиционных материалов в плазме микроволнового газового разряда низкого давления // ЖТФ. 2006. Т. 76, вып.1. С. 42–48.

2. Шаныгин В. Я., Яфаров Р. К. Создание автоэмиссионного лезвийного катода с использованием многофункционального электротехнологического оборудования на основе плазмы СВЧ газового разряда // Вестн. СГТУ. 2010. № 3 (47), вып. 2. С. 81–86.

ТОНКИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ: СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

А. С. Сигов

*Московский государственный технический университет радиотехники,
электроники и автоматики*

Широкая сфера применения пленок на основе сегнетоэлектриков определяется уникальностью их свойств. В частности, высокая диэлектрическая проницаемость находит применение в устройствах динамической памяти, что позволяет создавать сверхбольшие (до 500 Гбит/см²) накопители информации. Возможность переключения поляризации обуславливает создание сегнетоэлектрических полевых транзисторов, которые могут найти применение в принципиально новых цифровых процессорах. Сильный пьезоэффект является основой создания датчиков динамической деформации, которые возможно применять для мониторинга сложных механических систем, а также

для создания матричных преобразователей акустических фазированных антенн. Динамическая нелинейность сегнетоэлектрических пленок находит применение в электрически перестраиваемых СВЧ-устройствах (фильтрах, фазовращателях, линиях задержки), которые широко используются в фазированных антенных решетках. Электрооптический эффект в сегнетоэлектрических пленках является базовым в создании планарных управляемых оптических волноводов и сверхскоростных (до 40 ГГц) оптических модуляторов. На основе пирозффекта могут быть созданы высокоэффективные преобразователи инфракрасного (ИК) диапазона, которые находят применение в ИК устройствах высокого разрешения.

Основными проблемами при получении тонких сегнетоэлектрических пленок являются следующие:

- При разработке новых и совершенствовании существующих способов получения сложных оксидов в виде пленок приходится сталкиваться с взаимноисключающими факторами: для обеспечения синтеза оксидов необходимы высокие температуры, но при этом неизбежно происходит испарение легколетучих компонент при температурах, значительно меньших температуры синтеза.
- Высокие температуры синтеза многокомпонентных оксидов и связанное с этим нарушение их стехиометрии по-прежнему являются главной проблемой, которую необходимо решить при разработке технологии.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

РЕШЕНИЕ

Выездной сессии Научного совета РАН по физике конденсированных сред

С 13 по 16 июня 2012 г. на базе Саратовского государственного университета им. Н.Г.Чернышевского состоялась Выездная сессия Научного совета РАН по физике конденсированных сред (VII Научно-практический семинар «Актуальные проблемы физики конденсированных сред»). Было заслушано и обсуждено 22 научных обзорных доклада, отражающих состояние научных исследований в данной области физики.

Участники семинара посетили факультеты университета, его кафедры и учебные центры. Особый интерес вызвали работы, проводимые в лаборатории «Метаматериалы», созданной в рамках Гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых. Деятельность лаборатории представил ее руководитель чл.-корр. РАН С. А. Никитов. Состоялась интересная встреча с сотрудниками Саратовского филиала ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, большой интерес вызвали лаборатории СФ-8 (нанофотоника) и СФ-1(микро- и наноэлектроника).

Сессия отмечает:

– несомненную ценность выездных заседаний для координации научных исследований по тематике Совета и налаживания личных контактов исследователей и преподавателей из разных регионов Российской Федерации;

- большой интерес научных сотрудников, преподавателей, аспирантов Саратовского государственного университета и СФ ИРЭ РАН к работе сессии и обсуждению результатов научных исследований в данной области физики;
- высокий уровень результатов научных исследований, представленных на сессии. Особый интерес вызвали доклады С. А. Никитова «Кристаллы нового поколения», В. В. Кведера «Кремний и инженерия дефектов для солнечной энергетики», В. Н. Курлова «Профилированные кристаллы сапфира для лазерной терапии, хирургии и диагностики». Следует также отметить следующие доклады: А. В. Скрипаля «Фотонные кристаллы СВЧ-диапазона и их применение для определения электрофизических свойств полупроводниковых и металлических наноструктур и нанокомпозитов», Ю. В. Гуляева, Н. И. Сеницына, О. Е. Глухой и др. «Эмиссионная электроника на основе углеродных нанотрубок и наноструктур»;
- хорошую методическую оснащенность научных лабораторий Саратовского государственного университета и СФ ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН.

На участников сессии большое впечатление произвели доброжелательная творческая атмосфера в научном коллективе университета и Саратовском филиале ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, высокий уровень исследований и разработок для промышленности в СФИРЭ РАН, оснащенность современным научным оборудованием лабораторий университета и СФ ИРЭ РАН.

Сессия рекомендует:

- руководству секций Совета использовать базу и возможности университета для проведения научных мероприятий по тематике Совета, развивать сотрудничество с лабораториями СГУ и СФ ИРЭ РАН;
- распространить информацию о методических возможностях Саратовского государственного университета и СФ ИРЭ РАН среди институтов РАН;
- руководству Научного совета РАН по физике конденсированных сред обсудить до 15 декабря 2012 г. возможность проведения в 2013 г. на базе СГУ

и СФ ИРЭ РАН школу для молодых ученых по физике конденсированных сред.

Принято решение:

- провести следующую выездную сессию в июне-июле 2013 г.;
- поручить бюро Совета определить место и время проведения сессии.

Председатель Научного совета РАН
по физике конденсированных сред,
член-корреспондент РАН



В. В. Кведер

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Чугуева И. Н.</i> Научный совет РАН по физике конденсированных сред – история и современность.....	
<i>Кведер В. В.</i> Кремний и инженерия дефектов для солнечной энергетики.....	
<i>Антонов В. Е.</i> Гидраты водорода и углеводороды высокого давления....	
<i>Скрипаль А. В.</i> Фотонные кристаллы СВЧ диапазона и их применение для определения электрофизических свойств полупроводниковых и металлических наноструктур и нанокомпозитов.....	
<i>Салихов К. М.</i> Измерения расстояний 1-8 нм в твердых телах с помощью импульсных методов ЭПР.....	
<i>Усанов Д. А.</i> Ближнеполевая СВЧ микроскопия. Применение для контроля нанообъектов.....	
<i>Гуляев Ю. В., Сеницын Н. И., Глухова О. Е., Торгашов Г. В., Кудряшов В. П.</i> Электронные приборы на углеродных наноструктурах.....	
<i>Сорокина Н. И.</i> Кислородпроводящие соединения в системах $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$, где $\text{Ln}=\text{La, Pr, Nd}$. Структура и свойства.....	
<i>Никитов С. А., Высоцкий С. Л., Хивинцев Ю. В., Филимонов Ю. А.</i> Спин-волновые возбуждения в латерально периодических магнитных структурах – магнетонных кристаллах.....	
<i>Бражников М. Ю., Колмаков Г. В., Левченко А. А., Межов-Деглин Л. П., Абдурахимов Л. В.</i> Динамические и нестационарные явления на поверхности и в объеме конденсированного водорода.....	

<i>Муртазаев А. К.</i> Фазовые переходы во фрустрированных слоистых спиновых системах на треугольной решетке.....	
<i>Попов В. В.</i> Терагерцовая наноплазмоника.....	
<i>Горячева И. Ю., Сперанская Е. С., Гофтман В. В.</i> Разработка квантовых точек для использования в качестве биометок в многоцветных иммунохимических тест-методах.....	
<i>Карпов М. И.</i> Задачи и возможные решения в разработке новых жаропрочных материалов для газотурбинных двигателей.....	
<i>Гадомский О. Н., Ушаков Н. М., Кособудский И. Д., Музалев П. А., Еськин С. В., Подвигалкин В. Я., Кульбацкий Д. М.</i> Полимерные нанокompозитные просветляющие покрытия для преобразователей солнечной энергии.....	
<i>Андрюшечкин Б. В.</i> Самоорганизация атомов хлора и хлоридных структур на поверхности Au(111).....	
<i>Курлов В. Н.</i> Профилированные кристаллы сапфира для лазерной терапии, хирургии и диагностики.....	
<i>Яфаров Р. К.</i> Автоэмиссионные интегральные микроприборы на основе алмазографитового катода.....	
<i>Сигов А. С.</i> Тонкие сегнетоэлектрические пленки: свойства и применение.....	
Решение Выездной сессии Научного совета РАН по физике конденсированных сред.....	

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД**

Материалы

VII научно-практического семинара
(Выездная сессия Научного совета РАН
по физике конденсированных сред)
(Саратов, 2–5 июля 2012 г.)

Редактор Т. А. Трубникова

Технический редактор В. В. Володина

Корректор

Оригинал-макет подготовлен

Подписано в печать _____ 2012. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. ____ Тираж 122 экз. Заказ _____

Издательство Саратовского университета

410012, Саратов, Астраханская, 83.

Типография Издательства Саратовского университета.

410012, Саратов, Астраханская, 83.