

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ПРАВИТЕЛЬСТВО НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ  
КОМИССИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ЮНЕСКО  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МАТЕРИАЛЫ  
50-Й ЮБИЛЕЙНОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**«Студент и научно-технический прогресс»**

**13–19 апреля 2012 г.**

**ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА**

**Новосибирск  
2012**

УДК 53  
ББК 22.3

Материалы 50-й Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Физика твёрдого тела и электроника / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2012. 131 с.

ISBN 978-5-4437-0045-8

Конференция проводится при поддержке Президиума Сибирского отделения Российской Академии наук, Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-04-06805-моб\_г), Правительства Новосибирской области, Комиссии РФ по делам ЮНЕСКО, Технопарка Новосибирского Академгородка.

Конференция проведена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Научный руководитель секции –  
д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН А. В. Латышев  
Председатели секции – канд. техн. наук Е. В. Козырев,  
канд. физ.-мат. наук И. Б. Логашенко  
Ответственный секретарь секции – канд. физ.-мат. наук А. А. Блошкин

#### **Экспертный совет секции:**

д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. А. В. Латышев  
д-р физ.-мат. наук В. Л. Альперович  
д-р физ.-мат. наук З. Д. Квон  
канд. физ.-мат. наук И. Б. Логашенко  
канд. техн. наук В. В. Жуланов  
канд. физ.-мат. наук А. А. Король  
канд. техн. наук Е. В. Козырев  
канд. техн. наук, доцент О. В. Беликов  
д-р техн. наук А. М. Батраков  
М. Ю. Шадрин

ISBN 978-5-4437-0045-8

© Новосибирский государственный  
университет, 2012

**RUSSIAN FEDERAL MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE  
SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
NOVOSIBIRSK REGION GOVERNMENT  
COMMISSION OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR UNESCO  
NOVOSIBIRSK NATIONAL RESEARCH STATE UNIVERISTY**

**PROCEEDINGS  
OF THE 50th INTERNATIONAL STUDENTS  
SCIENTIFIC CONFERENCE**

**«STUDENTS AND PROGRESS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY»**

**April, 13–19, 2012**

**SOLID STATE PHYSICS AND ELECTRONICS**

**Novosibirsk, Russian Federation  
2012**

Proceedings of the 50<sup>th</sup> International Students Scientific Conference «*Students and Progress in Science and Technology*». Solid state physics and electronics / Novosibirsk State University. Novosibirsk, Russian Federation. 2012. 131 pp.

ISBN 978-5-4437-0045-8

The conference is held with the significant support of Presidium of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Russian Foundation for Basic Research (project № 12-04-06805-мо6\_г), Novosibirsk Region Government, Commission of the Russian Federation for UNESCO, Technopark of Novosibirsk Akademgorodok.

The conference is held with financial support of Russian Federal Ministry of Education and Science under the federal target program "Scientific and scientific-pedagogical personnel of innovative Russia" in 2009-2013.

Section scientific supervisor –  
Dr. Phys. Math., Corr. Member. RAS A. V. Latyshev  
Section heads – Cand. Tech. E. V. Kozyrev,  
Cand. Phys. Math. I. B. Logashenko  
Responsible secretary – Cand. Phys. Math. A. A. Bloshkin

**Section scientific committee:**

Dr. Phys. Math., Corr. Member. RAS A. V. Latyshev  
Dr. Phys. Math. V. L. Alperovich  
Dr. Phys. Math. Z. D. Kvon  
Cand. Phys. Math. I. B. Logashenko  
Cand. Tech. V. V. Zhulanov  
Cand. Phys. Math. A. A. Korol  
Cand. Tech. E. V. Kozyrev  
Cand. Tech., Assoc. Prof. O. V. Belikov  
Dr. Tech. A. M. Batrakov  
M. Ju. Shadrin

ISBN 978-5-4437-0045-8

© Novosibirsk State University, 2012

# ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА

## ПАССИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ InAs(111)А АНОДНЫМИ СЛОЯМИ, ВЫРАЩЕННЫМИ В КИСЛОТНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

М. С. Аксенов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

До настоящего времени нерешенной задачей при создании приборных МДП-структур на основе InAs является уменьшение плотности поверхностных состояний ( $N_{ss}$ ), величины встроенного заряда и гистерезисных явлений. Успех в решении этих задач достигается пассивацией поверхности полупроводника различными способами. В частности, пассивация InAs(111)А фторсодержащим щелочным анодным слоем обеспечивает создание МДП-структурах  $In_2O_3/SiO_2/InAs(111)A$  с  $N_{ss} < 5 \cdot 10^{10} \text{ эВ}^{-1} \text{ см}^{-2}$  [1]. Однако природа поверхностных состояний и центров захвата во фторсодержащем анодном слое (ФАС) не определена. В данной работе изучено влияние концентрации фтора в слоях различной толщины на электрофизические характеристики МДП-структур с тонкими анодными слоями в качестве диэлектрика, сформированными в кислотном электролите. В этом электролите практически полностью отсутствуют ОН-ионы, дающие вклад в гистерезисные эффекты МДП-структур и ухудшающие пробивные напряжения анодных слоев.

Параметры Au/ФАС(5-20нм)/InAs(111)А МДП-структур изучались методами ВАХ и проводимости на малом переменном сигнале. Методом Термана получено распределение  $N_{ss}$  в запрещенной зоне в зависимости от концентрации  $NH_4F$  в электролите. Установлено, что фтор, в основном, устраняет состояния вблизи валентной зоны и уменьшает величину встроенного заряда. При изучении гистерезисных явлений наблюдается линейная зависимость величины гистерезиса от напряжения развертки не зависимо от концентраций  $NH_4F$  в электролите. С уменьшением толщины слоя уменьшается величина гистерезиса при фиксированном поле в слое. Установлено, что для определенной толщины анодного слоя существует оптимальная концентрация  $NH_4F$ , при которой формируются МДП-структуры с минимальными  $N_{ss}$ , встроенным зарядом и величиной гистерезиса.

---

1. Г.Л. Курышев, А.П. Ковчавцев, Н.А. Валишева. Электронные свойства структур металл-диэлектрик-полупроводник на основе InAs. ФТП, 35 (9), 1111 (2001).

Научные руководители – канд. хим. наук. Н. А. Валишева,  
канд. физ.-мат. наук О. Е. Терещенко

# ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ОКСИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

М. В. Алейникова

Кемеровский государственный университет

В последнее время число работ, посвященных изучению оксидов щелочных металлов, постоянно растет. Это связано с их широким практическим применением. Оксиды щелочных металлов играют важную роль в изготовлении фотокатодов, усиливая каталитические реакции и окисление полупроводниковых поверхностей. Также они могут применяться в аккумуляторных устройствах, в топливных элементах или в газовых датчиках. В настоящей работе в рамках градиентного приближения теории функционала плотности в варианте, предложенном в [1], полноэлектронным методом линейной комбинации атомных орбиталей программного пакета CRYSTAL09 проведено исследование структурных и электронных свойств оксидов лития, натрия, калия при гидростатическом давлении в интервале от -3 до 15 ГПа. Для интегрирования в обратном пространстве и вычисления электронной плотности использовалась схема Monkhorst-Pack с сеткой  $8 \times 8 \times 8$  k-точек зоны Бриллюэна. Базисные наборы выбирались согласно [2] из соображений наилучшего согласования полученных первопринципных кристаллографических данных и экспериментальных.

Параметры уравнения состояния Birch-Murnaghan для  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  определены как (соответствующие экспериментальные данные [3] для  $\text{Li}_2\text{O}$  указаны в скобках):  $E_0$  (а.е.)= -90.4378, -399.8787, -1275.0876;  $V_0(\text{Å}^3)$ =24.653(24.24), 41.642, 63.198;  $B_0(\text{ГПа})$ =82.78(90), 57.74, 39.35;  $B_1$ =4.05(3.51), 3.94, 4.44, где  $E_0$  и  $V_0$  – равновесные значения энергии и объема,  $B_0$  – изотермический объемный модуль упругости,  $B_1$  – его производная по давлению. Постоянная кубической решетки оксидов убывает с ростом давления по закону, близкому к линейному. Топологическая структура энергетических зон в указанном интервале давлений не изменяется, при этом происходит уширение верхней валентной зоны, имеющей кислородную природу, и увеличение ширины запрещенной зоны.

---

1. Perdew J.P., Wang Y. // Phys. Rev. B. – 1992. – V.45. – P. 13244.

2. Интернет-ресурс [www.crystal.unito.it/Basis\\_Sets/ptable.html](http://www.crystal.unito.it/Basis_Sets/ptable.html).

3. Lazicki A., Yoo C.S., Evans W.J., Pickett W.E. // Phys. Rev. B. – 2006. – V.73. – P. 184120.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. Н. Журавлев

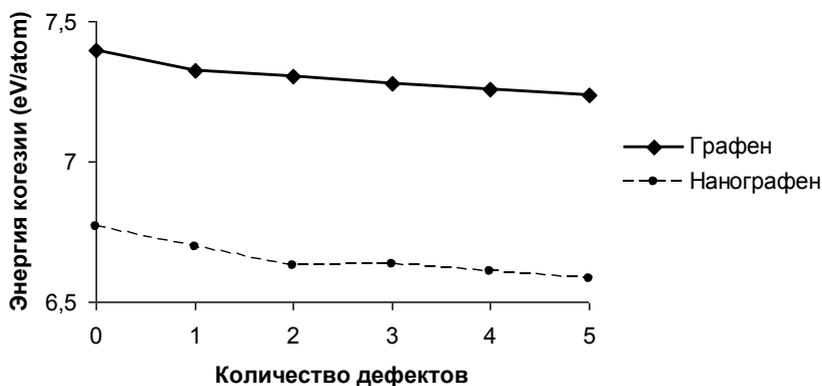
## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ В ГРАФЕНЕ И НАНОГРАФЕНЕ

Д. В. Алябьев, В. Г. Стельмах

Институт электроники им. У. А. Арифова, г. Ташкент

Методом Монте-Карло исследовались имеющие дефекты устойчивые конфигурации участков графена и нанографена (т.е. такого графена, который имеет граничные свободные атомы углерода). Для описания межатомного взаимодействия использовался потенциал Бреннера второго поколения [1].

Нанографен моделировался из 112 атомов углерода, расположенных в одной плоскости и в соответствующей для графенов конфигурации атомов углерода. Для моделирования графена на граничные атомы нанографена накладывались периодические условия вдоль плоскости графена. Затем из решётки графена и из середины нанографена последовательно удаляли  $N$  ( $N=1..5$ ) рядом стоящих атомов углерода и находили среднюю энергию когезии атомов углерода. На рисунке внизу показаны зависимости средней энергии когезии атомов углерода графена и атомов углерода нанографена в зависимости от количества дефектов.



*Работа выполнена в рамках проекта ПФИ № Ф2-ФА-0-45116, Республика Узбекистан*

1. D.W.Brenner, O.A.Shenderova, J.A.Harrison, S.J.Stuart, B.Ni, S.B.Sinnot. A second-generation reactive empirical bond order (REBO) potential energy expression for hydrocarbons // J.Phys: Condens. Matter 14 (2002), 783–802

Научный руководитель – д-р физ.-мат.наук, проф. А. А. Джурахалов

# ВЛИЯНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В АТМОСФЕРЕ РОСТА НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ИОНОВ ХРОМА В СИНТЕТИЧЕСКОМ ФОРСТЕРИТЕ. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭПР-СПЕКТРОСКОПИИ

Д. А. Ахметзянов<sup>1,2)</sup>, В. Б. Дудникова<sup>3)</sup>, Е. В. Жариков<sup>4,5)</sup>,  
Е.Р. Житейцев<sup>1)</sup>, В. Ф. Тарасов<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского  
КазНЦ РАН

<sup>2)</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет

<sup>3)</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

<sup>4)</sup>Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

<sup>5)</sup>Институт общей физики им. А. Н. Прохорова РАН

Кристаллы форстерита, легированные хромом, находят применение в качестве лазерного материала. На ионах  $\text{Cr}^{4+}$  реализована перестраиваемая по длине волны импульсная генерация в диапазоне 1.173-1.338 мкм и непрерывная генерация 1.236-1.300 мкм [1]. При выращивании лазерных кристаллов форстерита важной задачей является управление концентрациями примесных ионов хрома: уменьшение концентрации неактивных лазерных центров ( $\text{Cr}^{2+}$  и  $\text{Cr}^{3+}$ ) и увеличение концентрации лазерно-активных центров  $\text{Cr}^{4+}$ . Одним из методов управления концентрациями ионов хрома разной валентности является варьирование содержания кислорода, как окислительного элемента, в атмосфере роста кристаллов.

Цель данных исследований состояла в увеличении эффективности хром-форстеритовых лазеров путем подбора оптимальных условий роста лазерных кристаллов. Для этой цели были исследованы монокристаллы форстерита, легированные хромом, выращенные при парциальных давлениях кислорода в диапазоне 0.03-0.78 кПа. Контроль концентрации примесных центров проводился методом многочастотной ЭПР-спектроскопии.

Нами было установлено, что концентрация  $\text{Cr}^{4+}$  увеличивается в 6 раз при увеличении парциального давления кислорода 0.03-0.23 кПа, при этом концентрация  $\text{Cr}^{2+}$  уменьшается в 2.5 раза. Также наблюдалось незначительное увеличение концентрации одиночных  $\text{Cr}^{3+}$  и сложных центров, ассоциатов  $\text{Cr}^{3+}$ . В работе обсуждается структура ассоциатов.

---

[1] V. Petricevic, S.K. Gayen, R.R. Alfano. Appl. Phys. Lett. 53, 26, 2590 (1988).

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. В. Ф. Тарасов

## ПРОВОДЯЩИЕ КРАЕВЫЕ СОСТОЯНИЯ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ $\text{Ge}(\text{Sn,Pb})\text{Te-Bi}_2\text{Te}_3$

В. В. Бебнева, И. В. Силкин, Т. В. Меньщикова, Е. В. Чулков  
Томский государственный университет

Особый тип одномерных краевых электронных состояний представляют собой разрезы пленок двумерных топологических изоляторов (2D ТИ). Эти состояния являются проводящими и защищенными симметрией относительно обращения времени от обратного рассеяния на дефектах. Последнее означает, что электроны в этих состояниях могут двигаться вдоль краев пленок без потери энергии. Одним из направлений поиска новых 2D ТИ материалов является изучение соединений на основе уже известных трехмерных топологических изоляторов (3D ТИ). Классификация 2D ТИ фазы проводится на основе вычисления  $Z_2$  инварианта [1].

В данной работе исследовались тонкие пленки 3D ТИ материалов  $\text{Ge}(\text{Sn,Pb})\text{Te-Bi}_2\text{Te}_3$  толщиной от 7 до 35 слоев. Рассматриваемые соединения имеют гексагональную структуру, формируемую семислойными атомными блоками, разделенными ван-дер-ваальсовыми промежутками.

Проведенные расчеты значений  $Z_2$  инварианта показали, что тонкие пленки исследуемых соединений демонстрируют различное поведение  $Z_2$  инварианта с ростом их толщины. Из всех рассмотренных пленок ненулевым  $Z_2$  инвариантом обладают все пленки толщиной в 14 и 35 слоев, а также пленка  $\text{GeBi}_2\text{Te}_4$  толщиной в 21 слой и пленка  $\text{PbBi}_2\text{Te}_4$  толщиной в 28 слоев, что указывает на их принадлежность к 2D ТИ состоянию. Так как данные пленки являются 2D ТИ, то на краях разреза этих пленок будут присутствовать одномерные проводящие состояния.

Таблица 1. Значения  $Z_2$  инварианта для тонких пленок (7-35 слоев)

	7	14	21	28	35
$\text{GeBi}_2\text{Te}_4$	0	1	1	0	1
$\text{SnBi}_2\text{Te}_4$	0	1	0	0	1
$\text{PbBi}_2\text{Te}_4$	0	1	0	1	1

1. L. Fu, C. L. Kane, Phys. Rev. B76, 045302 (2007).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. М. Кузнецов

# УПРАВЛЕНИЕ СПЕКТРОМ ПРОПУСКАНИЯ ОДНОМЕРНОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА С ДЕФЕКТНЫМ СЛОЕМ НАНОКОМПОЗИТА

Р. Г. Бикбаев, А. Ю. Авдеева

Институт инженерной физики и радиоэлектроники  
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Фундаментальным свойством фотонных кристаллов (ФК) является явление локализации электромагнитных волн на дефектах структуры. В этом случае в запрещенных зонах (ЗЗ) ФК появляются дополнительные разрешенные уровни соответствующие локализованным модам. Положением и коэффициентом пропускания дефектных мод можно эффективно управлять, варьируя геометрические и структурные параметры ФК.

Интерес представляют композитные среды с наночастицами металлов при создании наноструктурированных металл-диэлектрических фотонных кристаллов, и на их основе новых способов управления светом [1]. Нанокompозит состоящий из металлических наночастиц взвешенных в прозрачной матрице характеризуется резонансной эффективной диэлектрической проницаемостью [2], тогда как оптические характеристики исходных материалов резонансных особенностей не имеют. В случае волн р-поляризации в [3] исследованы особенности спектральных свойств одномерного фотонного кристалла с резонансным дефектным слоем нанокompозита, состоящим из сферических наночастиц серебра, распределенных случайным образом в диэлектрической матрице.

В данной работе, в отличие от [3], исследован спектр пропускания волн s-поляризации в рамках модели 1D ФК с резонансным дефектным слоем нанокompозита. Изучены возможности управления величиной расщепления дефектной моды такого ФК изменением объемной доли наночастиц в дефектном слое и вариацией угла падения. Выявлены особенности в спектре пропускания волн s- и р-поляризации при угле падения равном углу Брюстера затравочного ФК.

- 
1. Тиходеев С.Г., Гиппиус Н.А., УФН, 179, 1003 (2009).
  2. J.C. Maxwell-Garnett, Philos. Trans.Roy.Soc.London, 203,385 (1904).
  3. Ветров С.Я., Авдеева А.Ю., Тимофеев И.В.//ЖЭТФ

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. Я. Ветров

# ПЛОТНОСТЬ СОСТОЯНИЙ В УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ

Н. Г. Бобенко

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают уникальными физическими свойствами и являются перспективными материалами для нанoeлектроники. В этой связи изучение электронной структуры и плотности электронных состояний (ПЭС)  $\nu(\varepsilon)$  в УНТ является актуальным. Из литературы известно, что:

- с увеличением температуры глубина минимума кривой ПЭС на уровне Ферми  $\varepsilon_F$  и угол наклона кривой относительно оси  $\varepsilon$  (энергия электронов) уменьшаются вблизи  $\varepsilon_F$ ;

- с ростом значений индексов хиральности металлических нанотрубок кривая зависимости  $\nu(\varepsilon_F)$  сужается;

- с изменением параметра ближнего порядка путем легирования трубки различными химическими элементами и комплексами примесей, возможно появление и исчезновение энергетической щели вблизи  $\varepsilon_F$  для металлических и полупроводниковых УНТ, соответственно;

- ПЭС на уровне Ферми зависит от концентрации примесей.

В работе предпринята попытка объяснить перечисленные выше особенности в ПЭС УНТ влиянием примесей и дефектов структуры типа ближнего порядка. Многократное упругое рассеяние электронов на дефектах структуры учитывалось с помощью метода температурных функций Грина. Получено следующее выражение для вклада в плотность электронных состояний:

$$\Delta \nu(\varepsilon) = \frac{2.45 \pi^{\frac{3}{2}}}{C_h a \gamma_0^{\frac{3}{2}} \tau} \frac{\left( \left( \frac{\sqrt{3} \pi a \gamma_0}{6 C_h} - \varepsilon \right)^2 + \frac{1}{4 \tau^2} \right)^{\frac{1}{2}}}{\left( \frac{\sqrt{3} \pi a \gamma_0}{6 C_h} - \varepsilon \right)^{\frac{3}{2}}}$$

где  $a$  – постоянная решетки,  $C_h$  – хиральность трубки,  $\gamma_0$  – интеграл перескока между первыми ближайшими  $p_z$  - орбиталями, наконец,  $\tau$  – электронное время релаксации, рассчитанное нами в [J. Phys.: Conf. Series. 2010. Vol. 248. Pp. 012005-1-012005-8], которое зависит от температуры, концентрации дефектов и параметра ближнего порядка. Этим и объясняются перечисленные выше эффекты, наблюдаемые экспериментально и описываемые с помощью других теоретических методов.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Н. В. Мельникова

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРЕХЯМНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ-ГЕРМАНИЯ

П. В. Винокуров, И. И. Куркина

Северо-Восточный федеральный университет им.М.К.Аммосова, г. Якутск  
Физико-технический институт

Для исследования процессов перезарядки в гетероструктурах немаловажную роль играют поверхностные состояния. При выращивании тонких пленок появляется большое количество поверхностных уровней, которое может помешать исследованию уровней в квантовых ямах. Для уменьшения поверхностного заряда и увеличения заселенности квантовых ям используют метод пассивации поверхности органическим монослоем 1-октадецена [1].

Целью данной работы является анализ влияния пассивации поверхности на процессы перезарядки в трехямных гетероструктурах Si/SiGe/Si. Исследования процессов перезарядки уровней проводились методом зарядовой спектроскопии глубоких уровней (Q-DLTS). Также были измерены вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики.

В непассивированных гетероструктурах в основном наблюдается перезарядка поверхностных уровней. Показано, что после пассивации появляется возможность исследования релаксационных процессов в квантовых ямах. Обнаружено, что пассивация увеличивает величину пика в спектре Q-DLTS, которая пропорциональна концентрации дискретных уровней. Из спектров Q-DLTS построены аррениусовские зависимости, с помощью которых рассчитаны энергии активации уровней, которые связаны с квантовыми ямами. Найдено, что пассивация влияет на вид вольт-амперных характеристик. Построена качественная модель квантовых ям.

---

1. I.V. Antonova, R.A. Soots et. al. Appl. Phys. Let., 91, 102116, 2007

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент С. А. Смагулова

## СВОЙСТВА СТРУКТУР $n$ -GaAs-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

В. В. Вишника, Ю. С. Петрова, Т. М. Яскевич  
Томский государственный университет

Исследовано влияние термического отжига и обработки в кислородной плазме пленок Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на электрические характеристики МДП-структур  $n$ -GaAs – анодный окисел – Me. Установлено влияние времени воздействия кислородной плазмы на зарождение кристаллитов  $\beta$ -фазы с различной ориентацией. Обработка в кислородной плазме приводит к изменению формы зерен и морфологии поверхности пленки Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. С увеличением времени воздействия кислородной плазмы уменьшается средняя площадь зерен при одновременном их росте в высоту.

Емкость и проводимость структур  $n$ -GaAs–анодный окисел—Me, не подвергнутых термическому отжигу, слабо зависят от величины и полярности напряжения. Отжиг анодных пленок Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при 900 °С в течение 30 минут приводит к резкому изменению электрических характеристик образцов, включая появление зависимости емкости и проводимости от напряжения и его полярности. ВФХ и ВСХ приобретают вид, характерный для МДП-структур.

Воздействие кислородной плазмы на анодные пленки оксида галлия перед отжигом также способствует изменению электрических характеристик исследованных структур, включая резкое снижение разброса характеристик образцов по подложке, уменьшение напряжения плоских зон и повышение крутизны ВФХ на участке модуляции. Пороговые напряжения увеличиваются с  $-0.5$  до  $-3.3$  В.

Используя экспериментальные  $C - U$  и  $G - U$  зависимости для МДП-структур после отжига, определены энергетические плотности поверхностных состояний на границе раздела  $n$ -GaAs– оксид галлия при разных временах воздействия кислородной плазмы. Среднее значение энергетической плотности поверхностных состояний составляет  $(3-4) \cdot 10^{12}$  эВ<sup>-1</sup>см<sup>-2</sup>.

Показано, что после термического отжига анодные пленки оксида галлия оказываются достаточно прозрачными, что подтверждается увеличением обратного тока ( $I_{обр}$ ) исследованных структур при освещении их со стороны управляющего электрода. В интервале обратных напряжений  $0 < U_{обр} \leq 5$  В ток возрастает в десятки раз при освещении образцов от лампы накаливания. Характер зависимости от напряжения отношения тока при освещении к темновому току ( $I_{обрL}/I_{обр}$ ), а также величина  $I_{обрL}/I_{обр}$  при фиксированном  $U_{обр}$  определяются режимом обработки оксидных пленок в кислородной плазме.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент. В. М. Калыгина

## КЛАСТЕРНАЯ МОДЕЛЬ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВЕ $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$

М. Н. Волочаев, А. В. Джес

Сибирский государственный аэрокосмический университет

им. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В работе представлены результаты расшифровки картин дифракции электронов, полученные от пленок сплава  $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$ , обладающего знакопеременным термоэлектрическим эффектом. Показано, что мартенсит деформации, обнаруженный в пленках, имеет аналогичную структуру, характерную для сплава  $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$ . Предлагается модель структурообразования мартенсита деформации в виде самоорганизации кластеров при переходе ГЦК-ОЦК структур под воздействием криомеханической обработки.

На рис. 1, а приведена расшифровка электронограммы, полученной от пленки  $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$ , содержащей аустенитно-мартенситную смесь фаз с ГЦК и ОЦК решетками соответственно. На рис. 1, б показана кластерная модель модульной сборки. Кластерный модуль ОЦК решетки хорошо совмещается с октаэдрической пустотой кластерного модуля ГЦК решетки. Предложенная модель хорошо описывает все известные схемы ориентационных соотношений: Курдюмова – Закаса, Питча и т. д. А также позволяет объяснить переход из одной фазы в другую небольшими сдвигами и поворотами коллектива атомов, формирующих кластерный агрегат, состоящий из нескольких тысяч атомов. В таких кластерных агрегатах движение атомов происходит кооперативно, благодаря небольшому объему отдельного кластера.

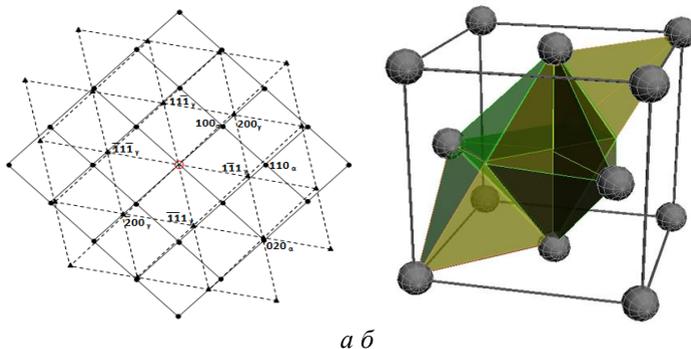


Рис.1 расшифровка электронограммы (а) и кластерная модель (б)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. И. Квеглис

## РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК

А. Е. Гайдук

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Требования современной миниатюризации новых приборов актуализируют исследования оптических характеристик тонкопленочных структур в видимом диапазоне. Во многих публикациях по оптическим измерениям показателей преломления и затухания пленок с толщиной вплоть до единиц нм принимаются их объемные значения, что иногда приводит к абсурду. Однако существует немало работ, где сообщается об отличии показателя преломления тонких пленок от объемного значения. [1-3]. Но однозначный ответ о причинах такого отличия отсутствует

Целью данной работы является обнаружение проявления возможной оптической неоднородности для заведомо однородных наноразмерных металлических пленок на примере никеля.

Все измерения проводятся на воздухе, однако влияние окисной пленки исключается. При этом ключевым новшеством в данной работе является проведение эллипсометрических измерение через кварцевую подложку (геометрия M2), поэтому первой задачей явилось исследование свойств плавленого кварца и вывод о возможном влиянии поверхности на результаты дальнейшей работы. Контроль рельефа поверхности плавленого кварца осуществлялся с помощью атомно-силовой микроскопии.

Расчеты для плавленого кварца по моделям M1(отражение от границы «воздух-тонкая пленка») и M2 дают идентичные результаты, что позволяет сделать вывод о том, что возможным наличием переходного слоя на границе плавленый кварц – воздух можно пренебречь при проведении эллипсометрических измерений.

Данные, полученные по геометрии M2 близки к литературным данным для измерений в вакууме. Результаты анализа расчета, экспериментов и литературных данных наводят на мысль об обнаружении размерных эффектов в видимом диапазоне.

- 
1. Harland G. Tompkins, Eugene A. Irene Handbook of ellipsometry 2005
  2. С.В.Мутилин, Т. Хасанов Показатель преломления тонкой однородной пленки SiO<sub>2</sub> Оптика и спектроскопия 2008 т.105 №3, с.505-510

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Т. Х. Хасанов

## РЕКОМБИНАЦИЯ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В НАНОКРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ В ПЛЕНКАХ $\text{SiO}_2$

А. В. Герт

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Идея создания оптоэлектронных устройств на основе кремния появилась уже достаточно давно. Для осуществления этой идеи необходимы быстродействующие элементы на основе кремния, способные испускать достаточно интенсивное излучение. Но, так как кремний – непрямозонный полупроводник, волновые функции электронов и дырок в пространстве квазиимпульсов перекрываются слабо, и время жизни зарядов весьма велико. Одним из способов увеличить вероятность излучательной рекомбинации, уменьшить время задержки и повысить эффективность люминесценции в кремнии является создание низкоразмерных структур.

Существует множество моделей, претендующих на объяснение природы люминесценции наноструктур кремния. Эти модели, собранные из разных источников, представлены в работе Г. Амато и М. Розенбауера. В последнее время наиболее широко обсуждались три из них. Это рекомбинация неравновесных носителей заряда, расположенных на уровнях размерного квантования в нк-Si, рекомбинация носителей заряда через уровни дефектов структуры и рекомбинация автолокализованных экситонов (STE), образованных на Si-Si димерах, располагающихся на границе нанокристалл-матрица.

Целью нашей работы являлось выяснение механизма рекомбинации неравновесных носителей заряда в нанокристаллах кремния, сформированных в пленках  $\text{SiO}_2$ . Для выяснения механизма рекомбинации была исследована стационарная и нестационарная ФЛ под действием внешнего электрического поля. Ранее влияние электрического поля на ФЛ нанокристаллов Si в матрице  $\text{SiO}_2$  изучалось в работах. Наши экспериментальные данные были интерпретированы в рамках квантово-размерной модели и в рамках модели STE. В итоге были получены доказательства в пользу модели рекомбинации автолокализованных экситонов.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук К. С. Журавлев

## ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА $\text{HfO}_2/\text{GaAs}(001)$ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ СЛОЕМ Si

В. А. Голяшов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Арсенид галлия, обладая большей шириной запрещенной зоны ( $E_g=1.42$  эВ) и высокой подвижностью электронов ( $\sim 8500$   $\text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ ,  $\times 6$  по сравнению с Si), является наиболее вероятным кандидатом для замены Si в полупроводниковых приборах. Также представляет интерес возможность его использования в оптоэлектронных и спинтронных устройствах. Основной проблемой, ограничивающей применимость GaAs, является отсутствие диэлектрика, граница раздела с которым имела бы низкую плотность поверхностных состояний (ПС). В отличие от практически идеальной границы раздела Si/SiO<sub>2</sub>, интерфейс GaAs/собственный оксид имеет высокую плотность поверхностных состояний ( $N_{ss}>10^{13}$   $\text{эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$ ), обусловленную присутствием переходного слоя, имеющего в своем составе оксиды мышьяка ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{As}_2\text{O}_5$ ) и галлия ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ).

Одним из способов уменьшения плотности ПС является пассивация поверхности GaAs тонким (5-6 монослоев) псевдоморфным слоем кремния перед нанесением диэлектрика. При этом в структурах SiO<sub>2</sub>/Si/GaAs достигается величина  $N_{ss}<10^{11}$   $\text{эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$  [1]. Но сохранение тонкого слоя Si при нанесении SiO<sub>2</sub> является сложно осуществимой задачей. С другой стороны, в качестве диэлектрика на кремнии уже широко используются high-*k* диэлектрики, в основном – HfO<sub>2</sub>. Ожидается, что граница раздела HfO<sub>2</sub>/5-6ML Si/GaAs будет иметь низкую плотность ПС, и данная работа посвящена ее формированию и изучению химического состава и электрофизических свойств.

В работе изучались структуры 10нм HfO<sub>2</sub>/6ML Si/n-GaAs, полученные напылением Hf в среде NO<sub>2</sub> на поверхность структур 6ML Si/n-GaAs, выращенных методом МЛЭ. Методом РФЭС показано, что формируется резкая граница раздела HfO<sub>2</sub>/Si. Определена оптимальная температура отжига структур после формирования границы раздела HfO<sub>2</sub>/Si/GaAs. Методами C-V и G-V характеристик показано, что плотность ПС не превышает  $N_{ss} \sim 6 \cdot 10^{11}$   $\text{эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$ , при этом токи утечек составляют  $\sim 1 \cdot 10^{-7}$  А/см<sup>2</sup>. Обсуждается механизм пассивации поверхности GaAs(001) Si.

---

1. H. Hasegawa. MBE growth and applications of silicon interface control layers. Thin Solid Films, V. 367, pp. 58 – 67 (2000).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент О. Е. Терещенко

# ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В ОДИНОЧНОЙ КВАНТОВОЙ ЯМЕ НА ОСНОВЕ КРТ

Д. И. Горн

Томский государственный университет

В данной работе нами проведены теоретические и экспериментальные исследования фотолюминесценции структуры  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  (КРТ) с квантовой ямой (КЯ) толщиной 12,5 нм и составом в узкозонном слое  $x = 0,24$ .

Исследуемая структура была выращена на установке молекулярно лучевой эпитаксии «Обь-М». Подробное описание структуры и методики эксперимента приведено в [1].

Измерения спектров люминесценции при температуре жидкого азота показали наличие трёх пиков излучения, некоторые из которых, как мы полагаем, связаны с межзонными переходами в квантовой яме. Ранее в данной структуре нам удавалось пронаблюдать только два ярко выраженных пика [1].

Для обработки результатов измерений были проведены оценки положения пиков люминесценции для данной структуры, основанные на расчёте уровней размерного квантования в яме методом огибающей волновой функции [2]. Был проведен учёт непараболичности энергетических зон через эффективную массу электронов и тяжёлых дырок. Также учтена анизотропия зоны лёгких дырок. Исходя из анализа расчётных данных, можно сделать вывод о том, что наблюдаемые пики люминесценции соответствуют переходам в КЯ  $c_1 \rightarrow h_1$ ,  $c_1 \rightarrow l_1$ ,  $c_2 \rightarrow h_2$  и  $c_2 \rightarrow l_2$ .

В дальнейших исследованиях нами планируется расширение спектрального диапазона в эксперименте с целью получения наиболее полной картины фотолюминесценции.

---

1. Горн Д.И. Исследование спектров фотолюминесценции гетероструктур КРТ с квантовыми ямами / Д.И. Горн, А.В. Войцеховский, И.И. Ижнин // Изв. вузов: материалы электронной техники. – 2011. – № 3. – С 26–29.

2. Наблюдение и анализ фотолюминесценции гетероструктуры  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  с одиночной квантовой ямой / А.В. Войцеховский, Д.И. Горн, И.И. Ижнин, А.И. Ижнин, Н.Н. Михайлов, С.А. Дворецкий // 5 Украинская научная конференция по физике полупроводников (УНКФП-5), Украина, Ужгород, 18-22 сентября, 2011. – С. 293–294

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Войцеховский

# ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ УМЕНЬШЕНИЕ ШУМА ФОТОРЕЗИСТОРА ИЗ СЕЛЕНИДА КАДМИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКИ

А.С. Гребенников, И. А. Егорова

Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники

Шумы полупроводникового прибора определяют уровень минимального сигнала, который может он функционально преобразовать. С другой стороны, изучение шумовых свойств полупроводниковых приборов в сочетании с внешними воздействиями способно дать информацию об электронных процессах, недоступную другим методам.

В данной работе исследуются полевые и частотные зависимости спектральной плотности шумового напряжения, а также напряжения фотопроводимости фоторезистора из селенида кадмия при различных уровнях его фоновой засветки и напряжения смещения. В результате экспериментальных исследований обнаружено появление глубокого минимума шума при определенных значениях напряжения смещения и мощности фоновой засветки. Параметры минимума шума немонотонно зависят от мощности фоновой засветки. Расчет фотоэлектрических и шумовых свойств фоторезистора в условиях засветки показал, что обнаруженный минимум шума может быть вызван только зависимостью дисперсий электронов и дырок от мощности засветки и напряжения смещения [1], что невозможно в рамках классических представлений о флуктуационных процессах в полупроводниках [2].

Предполагается, что обнаруженный минимум шума вызван обратимыми фотоструктурными преобразованиями в решетке полупроводника [3], протекающими при захвате исходными дефектами неравновесных дырок. Исходными объектами этих преобразований, вероятно, являются метастабильные комплексы структурных дефектов решетки полупроводника, которые способны захватывать неравновесные носители заряда и удерживать их в процессе засветки.

---

1. Давыдов В.Н. Дисперсии числа носителей заряда в примесно-дефектных полупроводниках. / В.Н. Давыдов, И.М. Мусина, А.С. Гребенников // Доклады ТУСУРа. – 2011. – №2 (24). – С. 7-16.

2. Ван дер Зил А. Шумы. Источники, описание, измерение. – пер. с англ. под ред. А.К. Нарышкина. – М.: Сов. радио. – 1973. – 225с.

3. Георгобиани А.Н. Физика соединений  $A^{IV}B^{VI}$ . / А.Н. Георгобиани, М.К. Шейкмана. – М.: Наука, 1986.–320с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Н. Давыдов

# КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ЭЛЕКТРОННО-КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ МОЛЕКУЛЫ НАНОАЛМАЗА

И. А. Денисов

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Наноалмазы широко используются в промышленности, биологии и медицине, хотя природа их парамагнитных свойств до сих пор является предметом горячих дискуссий. Наша работа посвящена локализации и источнику свободных спинов в наноалмазе, которые предположительно являются причиной парамагнитных и электрических свойств алмазных наночастиц и композитных материалов на их основе.

Модель, объясняющая экспериментальные данные, была впервые предложена после исследования ЭПР наноалмаза [1]. В основе теории лежат представления о поверхностных состояниях Тамма. Неоднократные экспериментальные подтверждения теории получены в исследованиях намагниченности,  $C^{13}$  ЯМР спин-решеточной релаксации [2-3], Оже релаксации и PEELS.

Нами было доказано существование поверхностных состояний в наноалмазе с позиций квантовой механики [4]. Мы предлагаем модель наноалмазной молекулы, как системы атомов и поверхностных электронов Тамма, которые формируют единую коллективную электронно-колебательную структуру. Поверхностные состояния локализованы на всей частице целиком, что позволяет рассматривать их как локализованные на крупном дефекте неспаренные электроны, чьи спины участвуют во взаимодействии с магнитным полем. Такая структура молекулы наноалмаза позволяет объяснить их магнитные и химические свойства.

На докладе будут представлены новые данные о взаимодействии поверхностных электронов с ограниченной решеткой наноалмаза. Результаты получены на основе точного расчета волновых функций и колебательной структуры ограниченной периодической решетки.

---

Belobrov P. et al. Paramagnetic properties of nanodiamond // *Doklady Physics*. 2001. Vol. 46 (7). P. 459–462.

Levin E. et al. Magnetization and  $C^{13}$  NMR spin-lattice relaxation of nanodiamond powder // *Physical Review B*. 2008. Vol. 77, № 5. P. 1–10.

Fang X. et al. Nonaromatic Core-Shell Structure of Nanodiamond from Solid-State NMR Spectroscopy // *Journal of the American Chemical Society*. 2009. Vol. 131, № 4. P. 1426–1435.

Denisov I.A., Belobrov P.I. Tamm floating electron in nanodiamond // *Arxiv preprint arXiv:1110.6747v2*. 2011. P. 1–9.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. П. И. Белобров

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ПЕРЕХОДА ОТ ТРЕХМЕРНОЙ К КВАЗИДВУМЕРНОЙ ПРОВОДИМОСТИ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

В. В. Денисюк

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Исследования квантовых макроскопических явлений в проводимости неупорядоченных систем на сегодняшний день являются одной из наиболее актуальных проблем в физике конденсированного состояния. Известно, что макроскопические квантовые явления могут проявляться при различных температурах и условиях. Кроме того, характер проявления квантовых эффектов в проводимости зависит от эффективной размерности электронного газа, а она, в свою очередь, зависит от толщины пленки.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию транспортных свойств тонких плёнок в зависимости от их толщины при температурах от комнатной до гелиевой (до 4.2 К). Получены зависимости сопротивления от температуры для плёнок TiN, NbSi с различными толщинами. Обнаружено, что сопротивление может как уменьшаться, так и увеличиваться при понижении температуры в зависимости от толщины пленки. Уменьшение сопротивления при понижении температуры обусловлено уменьшением влияния рассеяния на фононах и последующее насыщение вызвано рассеянием на примесях и дефектах решетки. Увеличение сопротивления связано с доминированием вклада квантовых поправок в изменение проводимости при температурах до 6-7 К. Немонотонное поведение сопротивления при понижении температуры обусловлено работой обоих механизмов. Обнаружено, что проводимость при понижении температуры уменьшается логарифмически, такому поведению соответствует слаболокализационный вклад в проводимость и поправка взаимодействия в диффузионном канале. Это позволяет утверждать о квазидвумерном характере квантовых вкладов в проводимость, то есть об изменении типа проводимости с трехмерного на квазидвумерный. И действительно, появление логарифмического вклада происходит при определенной температуре, которая соответствует толщине пленки равной нескольким тепловым длинам когерентности. При дальнейшем понижении температуры, уменьшение проводимости может снова смениться увеличением, это обусловлено влиянием поправок взаимодействия в куперовском канале.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук. А. Ю. Миронов

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В МАГНИТНЫХ СИСТЕМАХ ТИПА $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$

М. Е. Бычков, М. А. Дергачёв  
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

В последние годы значительный интерес вызывают исследования фазовых переходов в магнитных структурах. Надо отметить, что вблизи фазового перехода флуктуации параметра порядка нельзя считать малыми, они растут с приближением к точке перехода и их необходимо корректно учитывать.

В настоящей работе была рассмотрена задача о фазовых переходах «сверхпроводник-антиферромагнетик» в сложных упорядоченных магнитных системах типа  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  при наличии спиновых флуктуаций и эффекта обменного усиления электрон-фононного взаимодействия. С помощью основополагающих принципов построения флуктуационной теории фазовых переходах в сложных магнитных системах был записан вторично квантованный модельный гамильтониан [2]. После диагонализации этого гамильтониана с помощью «U-V» преобразования Боголюбова, была получена возможность применить метод ренормализационной группы и  $\mathcal{E}$  – разложения.

На основе анализа стационарных уравнений для амплитуд показано, что в системе сохраняется возможность фазового перехода второго рода в фазу сосуществования сверхпроводимости и антиферромагнитного упорядочения, которое в данном случае представляет собой медленно флуктуирующие (квазиравновесные) волны спиновой плотности.

1. Endoh Y., Yamada K., Gable D. et al. Static and dynamic spin correlations in pure and doped  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  // *Physical Review B* **37** (1988) pp. 7443-7453
2. Sadovnikov B.I., Savchenko A.M. To the theory of collective excitations in spin systems // *Physica A* **271** (1999) pp. 411-417
3. Shirane G., Endoh Y., Burgener R. et al. Two-dimensional antiferromagnetic quantum spin-fluid state in  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  // *Physical Review Letters* **59** (1987) pp. 1613-1616

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. М. Савченко

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФУЗИИ СПИН-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В КВАНТОВЫХ ЯМАХ GaAs/InGaAs

И. Э. Жаксылыкова

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Изучение свойств спин-поляризованных электронов в полупроводниковых гетероструктурах вызывает большой интерес в связи с возможностью использования таких структур в оптоэлектронных приборах [1]. Для успешной реализации спинтронных устройств необходимо обеспечить эффективную спиновую инжекцию в полупроводник и большие спиновые длины диффузии. Целью данной работы является определение длин диффузий заряда и спина электронов в двумерной системе квантовых ям InGaAs в GaAs.

Измерение длин диффузии спина и заряда проводилось методом фотолюминесценции на микроскопе Nikon Optiphot 70. Преобразование линейной поляризации в круговую, а также изменение знака круговой поляризации возбуждающего света и анализ круговой поляризации фотолюминесценции производилось с помощью четверть-волновых пластинок. Изображения люминесценции фиксировались CCD камерой высокого разрешения с одновременным измерением спектров фотолюминесценции.

В данной работе исследовалась поляризованная фотолюминесценция от образцов с квантовыми ямами и квантовыми точками на основе гетеропереходов GaAs/InGaAs. Поляризация фотолюминесценции при комнатной температуре в арсениде галлия и квантовых ямах составила 10 % и 6 %, соответственно. Длины диффузии заряда в арсениде галлия и квантовых ямах составили 1.4 мкм и 3.1 мкм. Приводятся температурные зависимости длин диффузии заряда и спина электронов. Обсуждается модель диффузии заряда и спина электронов и возможные механизмы релаксации спина.

---

1. Žutić I, Fabian J., Das Sama S.: **Spintronics: fundamentals and applications**. *Rev Mod Phys* 2004, **76**:323

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О. Е. Терещенко

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕЛИНЕЙНЫХ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ ТЕТРАБОРАТА СТРОНЦИЯ

А. А. Жохова

Институт инженерной физики и радиоэлектроники  
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Уникальным свойством нелинейного кристалла тетрабората стронция (SBO) является его прозрачность в области длин волн до 125 нм [1]. Однако в этом кристалле отсутствует угловой синхронизм, необходимый для получения эффективного нелинейно-оптического преобразования. Ситуация изменилась после обнаружения в SBO противоположно поляризованных доменов [2,3], образующих структуры типа нелинейных фотонных кристаллов (НФК) [4]. Использование НФК SBO позволило увеличить эффективность преобразования в этом кристалле. НФК-структуры в SBO являются нерегулярными и формируются в процессе роста самого кристалла. В связи с этим представляет интерес сравнительное исследование спектральных зависимостей нелинейно-оптического преобразования в образцах НФК SBO, полученных в разных ростовых экспериментах и обладающих различной геометрией доменов. Нами была выполнена характеристика доменных структур в этих образцах с помощью оптической микроскопии; выявлены основные типы НФК-структур, характерные для данного кристалла, а именно квазипериодические структуры, а также структуры с доминированием суммарной толщины одной из возможных поляриностей над другой. Обнаружено, что структуры второго типа могут сильно отличаться по характерному масштабу толщин доменов. Проведен расчет спектральных зависимостей нелинейно-оптического преобразования в этих структурах. Спектральные зависимости для всех структур состоят из отдельных пиков, лежащих в широком спектральном диапазоне от ИК до УФ включительно. Структуры первого типа характеризуются достаточно большой шириной пиков, превышающих характерные ширины генерации фемтосекундных лазеров. Структуры второго типа с более узкими доменами, согласно нашим расчётам, более благоприятны для генерации излучения в дальнем УФ диапазоне. Приведены результаты экспериментов по генерации ДУФ на образцах НФК с разными типами структуры.

1. Petrov V. et al // Optics letters. 2004. V.29, p.373.
2. Aleksandrovsky A.S. //Journal of optics A. V.9, p.S334.
3. Zaitsev A. I // Journal of crystal growth, 2008, V.310, p.1.
4. Berger V. // Phys. Rev. Lett. 1998. V.81, p.4136.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. С. Александровский

## **ОПТИЧЕСКИЙ УЗЕЛ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ОПТИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

О. В. Зайцева, О. Г. Казаковская

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

В настоящее время значительный интерес уделяется разработке бесконтактных методов измерений различных физических величин. Наиболее важными из них являются интерферометрические методы. Предельная чувствительность классического интерферометра (интерферометр Майкельсона) к амплитуде измеряемых вибраций ограничена дробовыми шумами фотодетектора. Интерферометрическое преобразование фазовой модуляции в амплитудную с использованием голограмм в фоторефрактивных кристаллах, обеспечивает эффективную фазовую демодуляцию и компенсацию низкочастотной модуляции, вызванной изменением внешних условий (вибраций).

Пьезокерамический элемент предназначен для преобразования электрической энергии в механическую. Его кристаллическая решетка обладает пьезоэлектрическим эффектом – изменение геометрической формы кристалла при приложении к нему электрического поля. Недостаток пьезокерамики заключается в емкостном характере нагрузки. При увеличении частоты управляемого сигнала уменьшается емкостное сопротивление, соответственно увеличивается емкостной ток.

В ходе работы был спроектирован и изготовлен оптический узел на базе пьезокерамики, а также устройство управления положением зеркала. Собрана экспериментальная установка интерферометра Майкельсона, с помощью которой можно получить экспериментальный график зависимости амплитудно-частотной характеристики пьезокерамического оптического узла, и затем использовать полученный график, как калибровочную кривую при исследовании поляризационных зависимостей взаимодействия световых волн в кристаллах. Данный оптический узел может быть использован при разработке адаптивных интерферометров – измерителей малых перемещений. А также в интерферометре Майкельсона с оптической отрицательной обратной связью, используемой для устранения влияния вибраций.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. И. Быков

## **ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОАЛМАЗОВ**

В. И. Закомирный

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

История создания метода детонационного синтеза наноалмазов насчитывает более 30 лет. Первые опытные образцы были получены в 1982 году. Алмазы обладают уникальным сочетанием высокой химической, термической и радиационной стойкости, наивысшей среди известных веществ твердости и износостойкости, низкого коэффициента термического расширения, малой теплоемкости, наивысшей теплопроводности, большой ширины запрещенной зоны, прозрачности в широком диапазоне спектра. До сих пор много потенциальных применений этого наноматериала, включая биомедицинские области и области структурных композитов, остаются неосвоенными.

Известно, что применение наноразмерных катализаторов (платина, палладий) положительно влияет на скорость протекания химической реакции. К сожалению, при этом материал слишком быстро теряет свои качества и приходит в негодность. Разработана технология получения из наноалмазов детонационного синтеза, производимых в России, модифицированных наноалмазов. Материал катализатора (платина) наносится на наноалмазы химическим способом. Полученные частицы обладают высокой коллоидной устойчивостью и сохраняют все качества чистого материала. Это позволяет уменьшить расход материала катализатора, а так же значительно увеличить срок его службы.

Для получения материала высокого качества необходимо соблюдение нескольких условий, а именно: чистота и узкий спектр размеров частиц исходного наноалмаза.

Показана возможность влияния на распределение частиц по размерам при помощи ультразвуковой и механической кавитации. Водная суспензия наноалмазов в течении различного времени подвергалась ультразвуковому воздействию. Другие образцы проходили кавитационную обработку. Измерение распределения размеров частиц наноалмаза до и после модификации поверхности и высокоэнергетической обработки проводилось при помощи дисковой центрифуги CPS24000. Полученные данные позволили сделать выводы об изменении размеров части в времени, интенсивности и вида обработки.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук доцент В. П. Исаков

## МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА Ag/Cu

А. М. Игошкин

Институт теоретической и прикладной механики  
им. С. А. Христиановича СО РАН

Среди всего многообразия технологических задач, решаемых на данный момент, одной из важнейших является задача осаждения металлических нанопленок на металлическую подложку. Существует большое число как теоретических, так и экспериментальных исследований данной проблемы. Однако, в настоящее время изучение совокупности механизмов, ответственных за формирование наблюдаемых структур тонких пленок, далеко не завершено. Для выявления этих механизмов необходимы различные методы исследования динамических процессов на атомарном уровне. К ним относятся метод молекулярной динамики, Монте-Карло, а также прямые квантовые расчеты. Самым мощным среди них при работе с системами порядка нескольких тысяч частиц является метод молекулярной динамики, что обуславливает его актуальность при решении данной задачи. Металлизация поверхности является многосоставной проблемой, поэтому необходимо ее разбиение на более обозримые подзадачи. Из них одной из самых важных является проблема влияния границы раздела осажденный слой – подложка. Особое значение и интерес имеет исследование гетероструктур из материалов, очень значительно отличающихся по параметру решетки. Среди металлов к таким относится, в частности, пара серебро и медь.

В работе рассматривается формирование нанослоя на поверхности медных (100) и (111) подложек путем моделирования осаждения серебра из газообразной фазы с последующим детальным анализом. Исследуется влияние ориентации, температуры на формирование границы раздела этих материалов. В ходе работы получен ряд важных закономерностей, в частности образование  $c(2 \times 10)$  суперструктуры на Ag/Cu(100), муаровой  $c(9 \times 9)$  суперструктуры на Ag/Cu(111), подтвержденных проводившимися ранее экспериментальными исследованиями. Помимо этого обнаружена не описанная ранее атомная конфигурация, приводящая к возникновению треугольной  $(10 \times 10)$  суперструктуры.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. Ф. Головнев

## РЕЗОНАНСНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ЧЕРЕЗ СТРУКТУРЫ Si/SiGe/Si ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 80-110 К

Д. Е. Иннокентьев

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова,  
г. Якутск

Резонансное туннелирование через дискретно локализованные электронные уровни в структурах с двойными барьерами и квантовыми ямами экспериментально является особенностью проводимости при низких температурах [1, 2].

В данной работе показана возможность наблюдения резонансного туннелирования носителей через уровни в квантовой яме в структуре Si/SiGe/Si при относительно высоких температурах (80-100 К), которые проявляются в виде ступеней на вольт-амперных характеристиках при протекании тока поперек структуры.

Исследованы три структуры Si/SiGe/Si с различным содержанием германия в слое SiGe — 15%, 10% и 7%. Эти структуры были выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложке зонного Si (100) *n*-типа при температуре 400 °С. Чтобы обеспечить низкий поверхностный заряд и высокую концентрацию носителей в приповерхностных слоях и квантовых ямах SiGe была использована пассивация поверхности органическими монослоями 1-octodecene.

Вольт-амперные характеристики двух образцов в интервале температур 80-110 К имеют ступенчатый характер. Также обнаружены петли гистерезиса, которые свидетельствуют о наличии квантовых ям в таких структурах.

Увеличение температуры приводит к росту величины тока и исчезновению ступеней. Предполагается, что ступенчатый вид вольт-амперных характеристик связан с прямым туннелированием носителей из металлического электрода через уровни размерного квантования в яме. Проведено сравнение величин напряжений, при которых наблюдаются ступени, с рассчитанной системой уровней в квантовой яме.

---

T. Schmidt, R. J. Haug, V. I. Fal'ko, K. V. Klitzing, A. Forster, and H. Luth, *Europhys. Lett.* 36, 61 (1996).

M. R. Deshpande, J. W. Sleight, M. A. Reed, and R. G. Wheeler, *Phys. Rev. Lett.* 76, 1328 (1996).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент С. А. Смагулова

# **ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБАМИ**

М. А. Каныгин, О. В. Седельникова

Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН

Композиционные материалы на основе полимеров, с введенными в их матрицу углеродными нанотрубками (УНТ), являются предметом многочисленных исследований в связи с их перспективностью при создании широкополосных поглотителей и отражателей электромагнитного излучения [1]. Особый интерес к УНТ-содержащим композитам продиктован структурными и физическими особенностями строения УНТ. Введение углеродных нанотрубок в состав композиционного материала предоставляет возможности для создания материалов с регулируемыми диэлектрическими и магнитными параметрами.

В данной работе исследовалось влияние ориентации УНТ помещенных в диэлектрическую матрицу на диэлектрические свойства получаемого композиционного материала. В качестве диэлектрического полимера выступала полистирольная матрица. При создании композиционных материалов использовались многослойные углеродные нанотрубки, синтезированные методом химического осаждения из газовой фазы. Концентрации УНТ в получаемых композитах варьировались от 0.1% до 5%. Ориентация УНТ в композиционном материале проводилась методом механического вальцевания. В ходе исследований было установлено, что диэлектрическая проницаемость композитного материала может варьироваться в широких пределах в зависимости от концентрации и ориентации УНТ в матрице. Установлено, что введение УНТ в полимерную матрицу приводит к увеличению диэлектрической проницаемости композиционного материала. Показано, что при относительной ориентации УНТ в композиционном материале вдоль прикладываемого электромагнитного поля диэлектрическая проницаемость материала значительно выше, по сравнению с ортогональным направлением.

---

1. P. Saini, V. Choudhary, B.P. Singh, R.B. Mathur, S.K. Dhawan // Materials Chemistry and Physics. 2009. V113, №2-3, pp. 919-926.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Окопуб

# О ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТА ИНЖЕКЦИОННОГО ОБЕДНЕНИЯ В СТРУКТУРАХ $n\text{GaP}-n^+(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$

А. Б. Каршиев

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце», г. Ташкент

Структуры типа  $n\text{GaP}-n^+(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$  были выращены из раствор-расплава (Sn-Si-GaP-ZnSe) методом жидкофазной эпитаксии. Далее исследовались вольтамперные характеристики полученных структур при комнатной температуре. ВАХ свидетельствует о том, что с ростом напряжения зависимость  $J(V)$  замедляется, что заставляет предположить возможность развития эффекта инжекционного обеднения (ЭИО).

ЭИО впервые был теоретически предсказан П.М.Карагеоргиев-Алкалаевым и А.Ю. Лейдерман [1]. Это явление наблюдается в  $p$ - $i$ - $n$ -структурах (или в других структурах с аналогичной зонной диаграммой) при прямом направлении тока, когда имеет место инжекция неосновных носителей из  $p$ - $n$ -перехода и аккумуляция основных носителей у  $n$ - $n^+$ -перехода. В этом случае основное уравнение задачи имеет вид:

$$\frac{d^2 p}{dx^2} - aJ \frac{dp}{dx} - \frac{p}{L_p} = 0$$

где параметр  $a$  обычно зависит от концентрации центров прилипания  $N_i$ .

Однако, возможен и другой вариант, когда этот эффект будет наблюдаться в условиях достаточно низкого уровня инжекции и в этом случае параметр  $a$  принимает вид  $a=1/qD_n N_d$ , где  $N_d$  – концентрация мелких доноров, определяющих тип проводимости. Для проверки предположения о возможности ЭИО мы перестроили ВАХ данной структуры в масштабе  $\ln V: I$  в интервале напряжений  $15 \div 20$  В. Исследуемая ВАХ в заданном интервале напряжений достаточно хорошо ложится на прямую. Основываясь на теории ЭИО на этом участке мы вычислили параметр  $a = \ln(V_2/V_1)S/(I_2 - I_1)d$ , (где  $S$  – поперечное сечение,  $d$  – толщина  $i$ -слоя), который оказался равным  $855,6$  см/А, отсюда по формуле  $a=1/qD_n N_d$  мы нашли концентрацию доноров  $N_d \approx 2,25 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>. Используя полученные данные, мы построили теоретическую зависимость  $J(V)$ , которая хорошо согласуется с экспериментом и подтверждает, что в данной структуре наблюдается ЭИО.

---

1. Leyderman A.Yu., Karageorgiy-Alkalaev P.M., Solid Stat Comm. 1978, v.25, №3, p.781-783.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Ю. Лейдерман

## ДВУХОСЕВОЙ ДАТЧИК ХОЛЛА НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРО-ТРУБОК

Д. П. Кириченко

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

В настоящее время существует множество электронных датчиков, основанных на бесконтактных методах измерения. Развитие электроники, требует уменьшения размеров, повышения уровня интеграции и перехода от измерения одной компоненты векторной величины (одноосевые датчики) к двум компонентам (двухосевые датчики). В частности, это необходимо для бесконтактных датчиков положения (автомобильные системы), электронных компасов, медицины и биологических исследований (отслеживание магнитных маркеров). В предложенной работе изготовлен датчик Холла, позволяющий измерять две компоненты магнитного поля. Трёхмерное микро- и наноструктурирование с использованием встроенных механических напряжений [1] позволяет формировать проводящие оболочки с несколькими холловскими элементами, имеющими различную, заранее заданную, пространственную ориентацию [2]. Преимущество датчиков изготовленных данным методом в том, что в них нет движущихся частей, а значит, вероятность того, что он выйдет из строя – мала. Благодаря миниатюрным размерам повышается уровень интеграции в технические устройства. Метод изготовления двухосевого датчика основан на явлении самосворачивания в трубку напряженной тонкой плёнки, после освобождения её от связи с подложкой [1]. В основе датчика лежит структура GaAs/AlGaAs/InGaAs (с жертвенным слоем AlAs), полученная методом молекулярно-лучевой эпитаксии. На поверхности гетероструктуры с помощью оптической литографии была создана мезоструктура в форме холловского мостика.

Экспериментально показано формирование микротрубки радиусом 11 мкм с электрическими контактами. Произведено одновременное измерение ЭДС на двух парах холловских контактов. Установлена чувствительность холловских элементов 473 мВ/Тл при токе 30 мА. Измерена угловая зависимость ЭДС Холла образца с микротрубкой.

---

1. V. Ya.Prinz et al., Physica E 6, 828 (2000).

2. А. В. Vorob'ev, V. Ya.Prinz; Directional rolling of strained heterofilms, Semiconductor Science and Technology (2002), 614-616.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. Б. Воробьёв

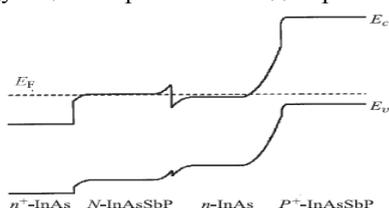
# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР

С. М. Кожевников

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Постановка задачи: для расширения диапазона рабочих температур фотоприемных устройств ведется поиск новых материалов. Диодные гетероструктуры являются возможными кандидатами на эту роль.

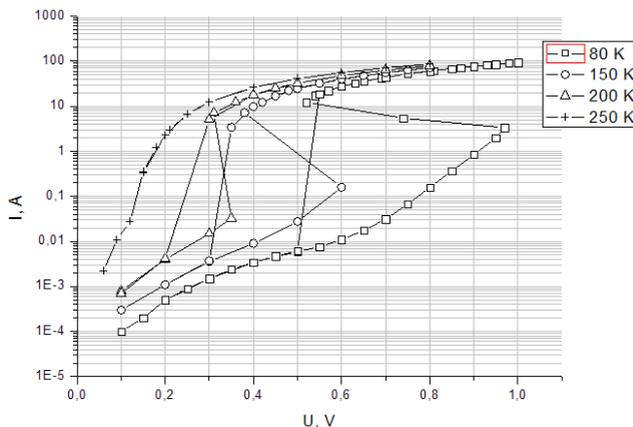
Были исследованы 3 серии диодов, изготовленных в ФТИ им. А. Ф. Иоффе. Диоды представляют из себя двойную гетероструктуру со следующей энергетической диаграммой [1]:



Толщины слоев каждой серии:

- 1) 350-2-4-6 (мкм)
- 2) 350-3-3-2 (мкм)
- 3) 350-2-2.8-2 (мкм)

На вольт-амперных характеристиках диодов третьей серии (с минимальной толщиной активного слоя n-InAs) при пониженных температурах наблюдается S-образная кривая (тиристорная ВАХ):



1. Н. В. Зогова и др. Пространственная неравномерность протекания тока и ее учет при определении характеристик поверхностно облучаемых фотодиодов на основе InAsSbP/InAs. ФТП, 2011, том 45, вып. 4.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. Г. Половинкин

# ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВАНАДИЯ В $V_2O_3$ НА ТЕМПЕРАТУРУ И ВЕЛИЧИНУ СКАЧКА ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ

Ю. Е. Кондратова, Е. В. Махватова  
Омский государственный технический университет

В оксиде ванадия (III)  $V_2O_3$  наблюдается фазовый переход от металла к диэлектрику (ФПМД) либо с изменением температуры, либо внешнего давления, либо состава. Изменение при ФПМД электрических, магнитных, оптических и других свойств используется при создании датчиков для систем автоматического регулирования или контроля.

Образцы для исследования готовились из мелкодисперсного порошка пентаоксида ванадия марки ОСЧ путем выдержки в токе очищенного водорода при повышенной температуре. Для определения параметров ФП исследовалась температурная зависимость электросопротивления в режиме нагревания и охлаждения в диапазоне температур от 80 К до 400 К. Для сравнительного анализа мы использовали относительные значения электросопротивления  $R/R_0$ , где  $R_0$  – сопротивление данного материала при температуре  $T_0 = 273$  К. В области ФПМД наблюдается скачок на зависимостях  $R/R_0(T)$ , причем следует говорить о заметном температурном гистерезисе ФП,  $\Delta T$ . Температуры фазовых переходов ( $T_{МД}$ ),

Табл. Значения  $T_{МД}$ ,  $\Delta \lg(R/R_0)$ ,  $\Delta T$ .

Соединение	$T_{МД}$ , К	$\Delta \lg(R/R_0)$	$\Delta T$ , К
$V_{2,003}O_3$	168	3,0	15
$V_{2,000}O_3$	171	9,0	5
$V_{1,997}O_3$	169	7,5	6
$V_{1,985}O_3$	167	8,0	8
$V_{1,976}O_3$	166	6,5	10
$V_{1,949}O_3$	167	6,0	10

определенные по данным измерения  $R/R_0$ , определялись как температуры, соответствующие температуре половины скачка при ФП. Наибольшей температурой перехода обладает соединение стехиометрического состава (169,8 К).

Таким образом, резюмируя, можно отметить следующее:

1. Величина скачка  $R/R_0$  при ФПМД,  $\Delta \lg(R/R_0)$ , максимальна для образца стехиометрического состава и, как правило, уменьшается с изменением содержания ванадия в образце, как в сторону избытка ванадия, так и в сторону дефицита.

2. Величина гистерезиса ФП,  $\Delta T$ , минимальна для образца стехиометрического состава и, как правило, увеличивается с изменением содержания ванадия в материале, как в сторону избытка ванадия, так и в сторону дефицита.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, проф. В. И Суриков, О. В. Лях

# ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВАНАДИЯ В $V_2O_3$ НА ТЕМПЕРАТУРУ И ВЕЛИЧИНУ СКАЧКА ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ

Ю. Е. Кондратова, Е. В. Махватова  
Омский государственный технический университет

В оксиде ванадия (III)  $V_2O_3$  наблюдается фазовый переход от металла к диэлектрику (ФПМД) либо с изменением температуры, либо внешнего давления, либо состава. Изменение при ФПМД электрических, магнитных, оптических и других свойств используется при создании датчиков для систем автоматического регулирования или контроля.

Образцы для исследования готовились из мелкодисперсного порошка пентаоксида ванадия марки ОСЧ путем выдержки в токе очищенного водорода при повышенной температуре. Для определения параметров ФП исследовалась температурная зависимость электросопротивления в режиме нагревания и охлаждения в диапазоне температур от 80 К до 400 К. Для сравнительного анализа мы использовали относительные значения электросопротивления  $R/R_0$ , где  $R_0$  – сопротивление данного материала при температуре  $T_0 = 273$  К. В области ФПМД наблюдается скачок на зависимостях  $R/R_0(T)$ , причем следует говорить о заметном температурном гистерезисе ФП,  $\Delta T$ . Температуры фазовых переходов ( $T_{МД}$ ),

Табл. Значения  $T_{МД}$ ,  $\Delta \lg(R/R_0)$ ,  $\Delta T$ .

Соединение	$T_{МД}$ , К	$\Delta \lg(R/R_0)$	$\Delta T$ , К
$V_{2,003}O_3$	168	3,0	15
$V_{2,000}O_3$	171	9,0	5
$V_{1,997}O_3$	169	7,5	6
$V_{1,985}O_3$	167	8,0	8
$V_{1,976}O_3$	166	6,5	10
$V_{1,949}O_3$	167	6,0	10

определенные по данным измерения  $R/R_0$ , определялись как температуры, соответствующие температуре половины скачка при ФП. Наибольшей температурой перехода обладает соединение стехиометрического состава (169,8 К).

Таким образом, резюмируя, можно отметить следующее:

3. Величина скачка  $R/R_0$  при ФПМД,  $\Delta \lg(R/R_0)$ , максимальна для образца стехиометрического состава и, как правило, уменьшается с изменением содержания ванадия в образце, как в сторону избытка ванадия, так и в сторону дефицита.

4. Величина гистерезиса ФП,  $\Delta T$ , минимальна для образца стехиометрического состава и, как правило, увеличивается с изменением содержания ванадия в материале, как в сторону избытка ванадия, так и в сторону дефицита.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, проф. В. И Суриков,  
О. В. Лях

## **СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ОКСИД/ПОЛУПРОВОДНИК В РАЗРЯДЕ ТАУНСЕНДА: ОКИСЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ GaAs(001)**

А. Ю. Кохановский

Новосибирский государственный университет  
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Проблема создания диэлектрического слоя на полупроводниках  $A_3B_5$  с низкой плотностью интерфейсных состояний является одной из ключевых в полупроводниковой промышленности. В данной работе реализован метод сухого окисления GaAs в разряде Таунсенда. Преимуществом данного метода является чистота газовой среды, в которой происходит окисление, а так же относительно малая энергия ионов ( $< 10$  эВ), при которой не вносятся поверхностные дефекты.

Создана установка, состоящая из вакуумной камеры соединенной с герметичным перчаточным боксом. Удаление собственных оксидов и загрузка образцов в камеру осуществляется в атмосфере азота, что позволяет исключить неконтролируемое окисление поверхности. Базовое давление в камере составляет  $10^{-3}$  торр. Система напуска и откачки позволяет контролируемо изменять и поддерживать необходимое давление в камере. В качестве анода используется исследуемый полупроводник. Катод состоит из сапфировой подложки с нанесенным полупрозрачным металлическим электродом  $In_2O_3$ , что позволяет контролировать однородность горения разряда через смотровое окно. Окно с противоположной стороны позволяет осуществлять подсветку полупроводника.

В работе изучены условия стационарности горения разряда Таунсенда и определены условия образования отрицательных ионов с минимальной энергией. Проведены измерения зависимости толщины и однородности анодного оксидного слоя на поверхности GaAs(001) от дозы ионного облучения и соотношения концентраций газовых компонент. Для анализа химического состава и морфологии полученных структур использовались методы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и атомно-силовой микроскопии. Для измерения толщины полученного оксидного слоя и его однородности использовался метод эллипсометрии. В работе обсуждаются вопросы исследования структур металл-оксид-полупроводник с границей раздела оксид/полупроводник, приготовленной в разряде Таунсенда.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О. Е. Терещенко

# УЧЕТ АНИЗОТРОПИИ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ В КВАНТОВЫХ ПРОВОЛОКАХ

А. А. Кошкарев

Институт физики полупроводников СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В работе рассматривалось распределение упругой деформации, создаваемое включением в виде бесконечной призмы (квантовой проволокой) в бесконечной упруго-анизотропной среде. Причиной возникновения деформации является несовпадение параметров решёток материалов включения и окружающей его среды (матрицы). Такие деформации влияют на положение энергетических зон, и поэтому их учёт необходим при расчёте состояний электронов в полупроводниковых гетероструктурах.

Цель работы заключалась в установлении связи между распределением деформации в *анизотропной* среде и аналогичным распределением в *изотропной* среде. Для этого решалась задача о включении в форме бесконечной призмы с прямоугольным сечением, ограниченной плоскостями типа {100}. Мы ограничились случаем кубической анизотропии. Модули упругости обоих материалов (включения и матрицы) считались одинаковыми. Обнаружено, что искомый тензор деформации в *анизотропной* среде  $u_{ik}^{\text{анизотр}}(x, y)$  (рис. 1) является линейной комбинацией тензоров деформации  $u_{ik}^{\text{изотр},1}(x, \lambda y)$  и  $u_{ik}^{\text{изотр},2}(\lambda x, y)$ , создаваемых в *изотропной* среде аналогичными включениями, растянутыми вдоль оси  $y$  (рис. 2) и вдоль оси  $x$  (рис. 3). Коэффициенты в линейной комбинации и «параметр растяжения»  $\lambda$  зависят только от модулей упругости.

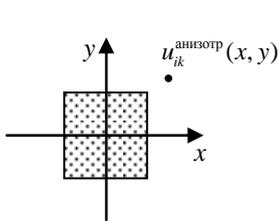


Рис. 1

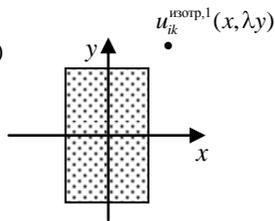


Рис. 2

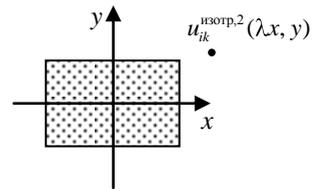


Рис. 3

Найденная связь позволит упростить вычисление тензора деформации в анизотропной среде путём сведения его к решению более простой «изотропной» задачи.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. В. Ненашев

# ИССЛЕДОВАНИЯ МУЛЬТИГРАФЕНА, ПОЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ РАССЛОЕНИЕМ ГРАФИТА

И. И. Куркина

Северо-восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова,  
г. Якутск

Графен, материал толщиной всего в один атом, построен из «сетки» атомов углерода, уложенных, подобно пчелиным сотам, в ячейки гексагональной формы. Графен обладает уникальными свойствами, из-за чего на него возлагают большие надежды в области электроники.

Целью работы является идентификация графена методом комбинационной спектроскопии и исследование микроповерхности графеновых пленок с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ).

В работе графеновые пленки были получены электростатическим осаждением [1] высокоориентированного пиролитического графита на подложку с оксидом кремния толщиной 300 нм.

Экспериментально полученные спектры комбинационного рассеяния графеновых пленок представлены на рисунке 1. Известно [2], что графен характеризуется двумя основными пиками G и 2D, причем интенсивность линии 2D больше интенсивности линии G, а для графита, наоборот, интенсивность линии 2D меньше. Как видно из рисунка 1 (справа), в наших пленках мультиграфена был обнаружен участок с однослойным графеном. Определены латеральные размеры однослойного графена с помощью изменения ширины линии 2D.

Проведены исследования микро рельефа графеновых пленок при помощи АСМ, рассчитана разность высот некоторых участков пленок, из которых были сделаны оценки количества слоев графена в пленках, которые лежат в пределах от 4 до 16 слоев.

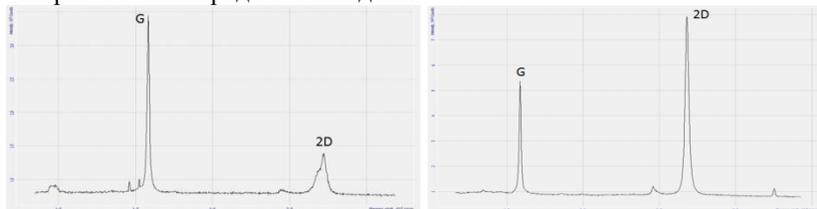


Рис.1. Спектр комбинационного рассеяния многослойного (слева) и однослойного (справа) графена.

1. N. Sidorov et al., Nanotechnology 18 (2007) 135301 (4pp).
2. A. C. Ferrari et al., Phys. Rev. Lett. 97, 187401 (2006)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. А. Смагулова

## ПАРАМЕТРЫ МАССИВА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ГЕРМАНИЯ НА КРЕМНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ РОСТА

К. А. Лозовой, А. М. Турапин, В. Г. Сатдаров, Е. А. Калин, А. А. Пищагин  
Томский государственный университет

В настоящее время полупроводниковые гетероструктуры с квантовыми точками (КТ) все более широко используются в приборах оптоэлектроники. В связи с этим разработка технологии управляемого синтеза Ge/Si наногетероструктур с квантовыми точками Ge на сегодняшний день является весьма актуальной задачей. Появление новых свойств при получении КТ Ge представляет интерес как с точки зрения фундаментальных исследований, так и для приборного применения в оптоэлектронике. При этом для практических применений необходима высокая плотность Ge островков (до  $10^{12}$  см<sup>-2</sup>), вертикальное упорядочение массивов КТ, а также высокая однородность формы и размеров островков.

Основной методикой получения Ge/Si наногетероструктур является молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). При этом образование Ge островков происходит по механизму Странского – Крастанова благодаря эффектам самоорганизации за счёт рассогласования по постоянным кристаллических решёток (4,2%). Поскольку в процессе роста островки образуются самопроизвольно, то управлять их морфологией можно только изменяя условия синтеза: температуру подложки, скорость напыления, количество напылённого материала. Кроме того, заметно отличаются по своим характеристикам массивы германиевых кластеров, выращенных на поверхностях с различной кристаллографической ориентацией, на предварительно окисленной поверхности кремния. К дополнительным способам управления параметрами системы можно также отнести использование сурфактантов и литографии, а также радиационное воздействие на структуру.

В работе приводятся результаты расчёта зависимости параметров самоорганизующегося массива КТ Ge на поверхности Si(100) от условий роста на основе кинетической модели. На базе проведённых оценок определялись условия синтеза для получения массива КТ Ge с заданными параметрами. Синтез структур проводился на установке МЛЭ «КАТУНЬ-100». В результате проведения ростовых экспериментов достигнута плотность островков Ge  $> 10^{11}$  см<sup>-2</sup>. Полученные результаты синтеза хорошо согласуются с используемым методом расчета параметров самоорганизующихся КТ Ge.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. П. Коханенко

# ЭКСИТОН-ПЛАЗМОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В МАССИВЕ ВЕРТИКАЛЬНО УПОРЯДОЧЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАПЕЛЬ И КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В СИСТЕМЕ INAS/GAAS

А. А. Лямкина, С. П. Мощенко

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Полупроводниковые квантовые точки (КТ) являются ключевыми элементами многих оптических приборов нового поколения. Одним из наиболее перспективных подходов для управления их оптическими свойствами является использование металлической частицы в качестве наноантенны для КТ. Для получения массива металлических частиц можно использовать начальную стадию нанокapельной эпитаксии[1]. Известно, что при выращивании близких слоёв КТ из-за упругих напряжений в матрице происходит вертикальное упорядочение точек[2]. Использование каплей вместо верхнего слоя КТ приведёт к расположению капли ровно над КТ. Несмотря на случайное положение пары, расстояние между КТ и каплей фиксировано толщиной буферного слоя и, таким образом, этот метод позволяет контролировать взаимодействие в паре. Важным преимуществом такого подхода является совместимость создания каплей с МЛЭ технологией, используемой для роста КТ.

Нами были выращены образцы, содержащие несколько слоёв КТ, полученных в режиме роста Странского-Крастанова, и капли In на поверхности. Исследования методом ПЭМ показали, что капли индия располагаются над вертикально упорядоченным рядом КТ. Взаимодействие плазмонов каплей с экситонами КТ проявляется в спектрах фото- и катодолюминесценции (ФЛ и КЛ), в которых наблюдается дополнительный длинноволновый пик, соответствующий рассчитанной нами частоте плазмонного резонанса. Однако из-за высокой температуры роста происходит травление поверхности жидким металлом, и верхний слой КТ деформируется. Для повышения устойчивости системы КТ нами предложено использовать квантовые колонки [3]. Для формирования такой структуры над слоем зародышей – InAs квантовых точек была выращена напряжённая сверхрешётка InAs/GaAs из 10 слоёв. Из-за упругих напряжений в слое InAs образуются вытянутые вертикально 3d-структуры. Спектры КЛ такой системы также содержат дополнительный пик, который мы связываем с взаимодействием экситонов в КТ с плазмонным резонансом в каплях.

---

[1] A.A. Lyamkina et al. *Nanoscale Res Lett* **6**, 42 (2011).

[2] V. A. Shchukin et al. *Phys. Rev. B* **57**, 19 (1998)

[3] D. Alonso-Álvarez et al. *Adv. Mater.* **44**, 5116 (2011)

Научный руководитель – С. П. Мощенко

## УВЕЛИЧЕНИЕ ТЕМПА ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ В КВАНТОВЫХ ТОЧКАХ, СВЯЗАННЫХ С НАНОКАПЛЯМИ ИНДИЯ

А. А. Лямкина, С. П. Мощенко

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Одной из важнейших задач современной нанотехнологии является повышение эффективности и управление оптическими свойствами квантовых излучателей. Особое внимание уделяется квантовым точкам (КТ), которые являются ключевыми элементами различных оптических приборов нового поколения, таких как источники одиночных фотонов. В настоящий момент активно исследуется подход, связанный с использованием металлической частицы в качестве наноантенны для КТ. Как известно, в металлической частице под действием света вблизи границы раздела металл–диэлектрик могут возбуждаться колебания электронной плотности – локализованные поверхностные плазмоны. При взаимодействии КТ с такой частицей локальное усиление электрического поля плазмонами вблизи частицы увеличивает скорость спонтанной рекомбинации благодаря эффекту Пурселла [1] и, таким образом, повышает эффективность излучателя.

В данной работе экспериментально исследована система, состоящая из КТ, взаимодействующих с металлическими наночастицами. Методом молекулярно-лучевой эпитаксии нами были выращены образцы, содержащие слой InAs КТ в матрице AlGaAs, полученных в режиме роста Странского-Крастанова, и капли In на поверхности. В стационарном спектре фотолюминесценции (ФЛ) образца наблюдается длинноволновый пик, соответствующий частоте плазмонного резонанса, полученной методом численного моделирования. Отношение амплитуды пика к значению интенсивности ФЛ КТ на длине волны его максимума (получено аппроксимацией) составило около 5. Исследования кинетики ФЛ показали, что время жизни носителей заряда в ансамбле КТ составляет около 600 пс. Измерения на длине волны плазмонного резонанса обнаружили биэкспоненциальный распад с характерными временами 1 нс и 100 пс. Длинное время жизни можно связать с переносом неравновесных носителей заряда между соседними КТ. Короткое время жизни может быть связано с эффектом Пурселла и хорошо согласуется с оценённым ранее усилением интенсивности стационарной ФЛ.

---

[1] T.V. Shubina, A.A. Toropov, V. N. Jmerik et al. Plasmon-induced Purcell effect in InN/In metal-semiconductor nanocomposites, *Phys. Rev. B* **82**, 073304 (2010).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЕСТЕСТВЕННОГО $p$ - $n$ ПЕРЕХОДА В СОЕДИНЕНИИ $\text{Bi}_2\text{Te}_3$

С. В. Макаренко

Новосибирский государственный университет

Интерес к изучению соединения  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  связан с проявлением этим кристаллом свойств топологических изоляторов (ТИ), открытых несколько лет назад. Особенность ТИ состоит в том, что на поверхности этих соединений отсутствует запрещенная зона из-за наличия спин-поляризованных поверхностных состояний (ПС) с линейным законом дисперсии; а в объёме  $E_g$  составляет 0,2-0,4 эВ. ПС являются. Основная проблема при изучении поверхностных свойств ТИ, обусловленная дефектами замещения и вакансиями, является высокая концентрация объёмных носителей зарядов, которые шунтируют ПС при пропускании тока через кристалл. Ранее было установлено [1], что в системе  $\text{Bi-Te}$  при начальной концентрации теллура в расплаве <63%, первые порции кристалла обладают  $p$ -типом проводимости, тогда как полученные из более богатых теллуром расплавов кристаллы в начальных частях являются проводниками  $n$ -типа. Таким образом, при медленной кристаллизации теллурида висмута из расплава с небольшим избытком теллура (<63%), последний будет постепенно накапливаться в расплаве. Следовательно, на каком-то этапе кристаллизации расплав будет содержать теллура >63%, и внутри такого кристалла будет существовать естественный  $p$ - $n$  переход, в области которого уровень Ферми должен будет лежать в запрещённой зоне.

Задача данной работы состояла в проверке гипотезы существования естественного  $p$ - $n$  перехода в кристаллах  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и изучении его электрофизических свойств.

Монокристаллы  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  были выращены вертикальным методом Бриджмена из расплавов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Te}_x$  ( $x=0,61; 0,62$ ). С помощью метода Холла установлено, что нижняя и верхняя части кристаллов обладают  $p$ - и  $n$ -типом проводимости, соответственно. Измерена концентрация носителей вдоль кристалла и определено местоположение  $p$ - $n$  перехода. В области  $p$ - $n$  перехода концентрация носителей меняется с  $p= 1,9 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  в области  $p$ - типа, на  $n= 2,9 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  в области  $p$ - типа. Несмотря на наличие  $p$ - $n$  перехода вольтамперная характеристика оказалась линейной, что может быть связано с шунтированием перехода ПС. В работе обсуждаются структурные и химические свойства поверхности (0001)  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .

---

1. Satterwaite C.B, Ure R.W., *Electrical and thermal properties of  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$* . Phys. Rev., 108(5), p. 1164-1170, (1957)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент О. Е. Терещенко

## ЭЛЕКТРОННЫЕ СОСТОЯНИЯ В ГРАФЕНЕ С ПОТЕНЦИАЛОМ

$$U \ll \frac{1}{|x|+d}$$

## И НАНОТРУБКАХ С ВОДОРОДОПОДОБНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

Д. С. Мисерев

Новосибирский государственный университет

Графен является одним из наиболее изучаемых наноматериалов последнего времени. Его энергетический спектр имеет уникальную особенность – отсутствие запрещенной зоны и линейный закон дисперсии. Вблизи точки смыкания зон состояния электронов описываются гамильтонианом  $H = \sigma p + U \ll \frac{1}{|x|+d}$ . В работе в приближении огибающих изучены состояния электронов в потенциале  $U \ll \frac{1}{|x|+d}$ .

Рассматриваемый потенциал применим к задаче об электронных состояниях на кулоновской примеси в нанотрубке, которые могут быть описаны с помощью похожих уравнений, если считать одну из координат, скажем  $y$ , циклической переменной.

Задача решена аналитически: найдены волновые функции, дискретный спектр, коэффициент прохождения, фазы прохождения и отражения. В данном потенциале для частиц с отличным от нуля значением  $y$ -компоненты импульса  $p_y$  существует область энергии, соответствующая дискретному спектру. Кулоновская асимптотика потенциала обеспечивает сгущение дискретных уровней к энергии  $E = |p_y| - 0$  по закону  $\frac{1}{n^2}$ .

Отметим сильную зависимость спектра от параметра  $d$  и его расходимость при стремлении  $d$  к нулю. Для квазичастиц непрерывного спектра коэффициент прохождения также имеет ряд особенностей: наличие осцилляций при  $E < -p_y$ , слабую зависимость от энергии в области  $E > p_y$ , отсутствие сходимости при  $d \rightarrow 0$ . Расходимость обусловлена падением частиц на центр. Помимо точных формул, рассмотрены также различные приближения. Показано, что найденные фазы рассеяний можно использовать для приближенного нахождения состояний в квантовой полосе из графена с приграничным потенциалом.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук М. В. Энтин

# МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ НАНОКЛАСТЕРОВ ПРИ ОТЖИГЕ СМЕСИ СОСТАВА $\text{SiO}_x$

Е. А. Михантьев

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный технический университет

Исследовалось формирование нанокластеров кремния (Si-нк) в процессе отжига слоев состава  $\text{SiO}_x$  ( $1 \leq x < 2$ ) с использованием решеточной Монте-Карло модели [1]. Si-нк, покрытые окисной оболочкой, обладают фотолюминесценцией в видимой области спектра и могут быть использованы для создания оптоэлектронных приборов [2].

При отжиге  $\text{SiO}_x$  слоёв наблюдалось разделение фаз на  $\text{SiO}_2$  и Si-нк. Основным процессом, приводящим к разделению фаз, являлась диффузия кремния и кислорода. Показана роль монооксида кремния в процессе формирования Si-нк. Молекулы SiO, образующееся при высокой температуре, увеличивают скорость роста Si-нк, а распад SiO около кластеров приводит к образованию оксидной оболочки вокруг них. Наблюдались три стадии формирования Si-нк из изначальной случайной смеси атомов Si и O: 1) формирование  $\text{SiO}_4$  тетраэдров и мелких Si-нк; 2) укрупнение кластеров за счёт слияния мелких рядом стоящих кластеров; 3) медленный рост кластеров благодаря диффузии Si и SiO. Проанализированы зависимости размера кластеров от температуры, времени отжига и состава  $\text{SiO}_x$  смеси при отжиге одиночных слоёв состава  $\text{SiO}_x$ , слоистых структур  $\text{SiO}_2$ -SiO-SiO<sub>2</sub> и плёнок  $\text{SiO}_2$ , содержащих слои нестехиометрического состава.

В зависимости от температуры отжига, в плёнках  $\text{SiO}_2$ , содержащих слои нестехиометрического состава, может происходить либо собирание избыточного кремния в кластеры ( $T \leq 1050^\circ\text{C}$ ), либо образование полостей за счёт образования подвижных и летучих молекул SiO ( $T \geq 1150^\circ\text{C}$ ). Этот результат согласуется с экспериментальными данными по отжигу слоёв  $\text{SiO}_2$  после создания в них с помощью ионной имплантации слоёв с избыточным содержанием кремния [3].

Работа поддержана грантом РФФИ (11-02-00045).

1. Зверев А. В., Неизвестный И. Г., Шварц Н. Л., Яновицкая З. Ш. Российские нанотехнологии. 2008. 3, № 5-6. С. 175-185.
2. L. Pavesi, L. Dal Negro, C. Mazzoleni, G. Franzo, F. Priolo. Nature, 408, 440 (2000).
3. Beyer V., von Borany J., Heinig K.-H. J. Appl. Phys., 2007. 101, № 5. P. 053516

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Н. Л. Шварц

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ

А. В. Мошкина, О. Л. Роденко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Одной из основных характеристик эффективности светодиодов является внешний квантовый выход, величина которого на сегодня составляет 35% для синих светодиодов. Увеличить его можно созданием микрорельефа на поверхности кристалла. Микрорельефные поверхности были созданы в просветляющем покрытии  $\text{SiO}_2$  на кремнии методом магнетронного распыления, с оптической толщиной, соответствующей  $\lambda/4$ . Толщина пленки  $\text{SiO}_2$  ( $n = 1,41$ ) составила 80 нм. На рисунке 1 представлено изображение поверхности с наноструктурами, сформированными в  $\text{SiO}_2$  с помощью электронно-лучевой литографии на установке Raith 150 в НОЦ «Нанотехнология». Расстояние между остриями 350 нм, диаметр основания острия 200 нм.

Оптические характеристики пленки  $\text{SiO}_2$ , нанесенной на кремний, были исследованы с помощью лазерного эллипсометра ЛЭМ-3:  $\text{SiO}_2$ :  $n = 1,45$ ,  $d = 98$  нм;  $\text{SiO}_2$  (с микрорельефом):  $n = 1,46$ ,  $d = 93$  нм. На рисунке 2 приведены спектры отражения для пленки  $\text{SiO}_2$  с микрорельефом.

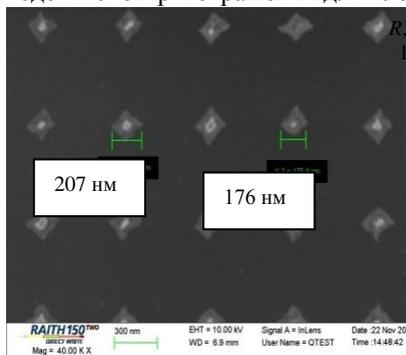


Рис. 1 – Микрорельефная поверхность в виде пирамидок

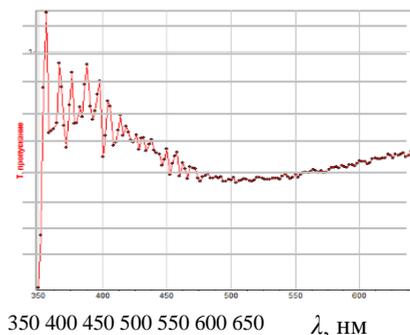


Рис. 2 – Спектр отражения пленки  $\text{SiO}_2$  с микрорельефом

Оптические характеристики исследовались на рабочей длине волны лазерного эллипсометра 632,8 нм. Анализ экспериментальных результатов показывает, что при формировании в пленке  $\text{SiO}_2$  микрорельефа коэффициент отражения увеличивается с 30 % до 55 %.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент И. А. Чистоедова

## ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ ПЛЕНКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ГРАФИТОВЫХ ПОДЛОЖКАХ CVD-МЕТОДОМ

Н. Т. Муталов

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце», г. Ташкент

В последнее время уделяется большое внимание получению полупроводниковых пленок карбида кремния (SiC) на графитовых подложках. Такие пленки могут быть использованы либо в качестве буферного слоя для последующего выращивания на них алмазных пленок, либо в качестве исходного материала для изготовления различных полупроводниковых приборов.

Одним из наиболее распространенных и доступных способов получения пленок SiC является CVD-метод. Следовательно, в наших экспериментах для эпитаксиального выращивания пленок SiC была применена именно этот метод. При этом в качестве углеродсодержащего химического реагента нами был использован метилтрихлорсилан ( $\text{CH}_3\text{SiCl}_3$ ), а в качестве газа-носителя чистый водород ( $\text{H}_2$ ), полученный с помощью палладиевой очистки. Подложками служили мелкозернистые графитовые пластины. Подложки проходили надлежащую обработку.

Результаты экспериментов показали, что более совершенные кристаллы SiC получаются в интервале температур 1600-1800°C. Переходное сопротивление между графитовой подложкой и эпитаксиальной пленкой, в зависимости от температуры эпитаксии, SiC имело значение от 0,1 Ом до 2,0 кОм. Так, например, пленки, выращенные при относительно низких температурах (1200°C), имели высокое сопротивление, и наоборот, пленки, выращенные при высоких температурах, имели низкое переходное сопротивление. Вольтамперные характеристики всех исследованных нами образцов были почти линейными. Полученные нами пленки SiC на графитовых подложках, имели однородную гладкую поверхность и были пригодны для выращивания на них слоев других полупроводников, используемых при изготовлении различных полупроводниковых приборов.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) перехода М – SiC, измеренная вольфрамовым зондом при комнатной температуре имеет типичную форму для SiC. При измерениях ВАХ нами было наблюено слабое светло-голубое свечение, исходящее из слоя, находящегося под зондом, что свидетельствует о совершенстве выращенной нами CVD-метод пленки SiC на графитовых подложках.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Т. М. Салиев

## **ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦЕНТРЫ ОКРАСКИ И НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ В КРИСТАЛЛАХ LiF ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ АРГОНА**

А. К. Мухышбаева, Б. З. Абдукадиров, З. М. Кидиралиева,  
З. Т. Уматова, А. Т. Жумажанова

Междисциплинарный научно-исследовательский комплекс,  
ускоритель ДЦ-60, г. Астана

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана

В настоящей работе исследовались кристаллы LiF, облученные ионами  $^{40}\text{Ar}$  с энергией 56 МэВ (длина пробега  $R = 12.21 \mu\text{m}$ ) на циклотронном ускорителе DC-60 (Астана), при 300К. Флюенс изменялся в диапазоне от  $10^{13}$  до  $2 \times 10^{11}$  ионов/ $\text{cm}^2$ . Соответствующая интенсивность ионного потока – флюкс ( $\phi$ ) составил  $2.6 \times 10^{10}$  ионов/ $(\text{cm}^2 \times \text{c})$ . Радиационные дефекты исследовались методами оптической абсорбционной спектроскопии, термостимулированной люминесценции (ТСЛ), атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Установлено, что эффективность создания одиночных F центров при высоких флюенсах уменьшается, а концентрация сложных  $F_n$  центров нелинейно возрастает из-за значительных рекомбинационных потерь первичных пар Френкеля и процессов агрегации, вследствие перекрытия треков.

При исследовании ТСЛ кристалл был расколот на две части причем верхняя часть имела толщину соответствующую длине пробега иона аргона. Спектры ТСЛ для верхней части, где содержатся треки, существенно отличается от спектра ТСЛ нижней части, где отсутствуют треки. ТСЛ нижней части – два максимума при 440К и 540К, а в ТСЛ верхней части – 500К, 540К, 650К. Термический поэтапный отжиг с измерением спектров поглощения показал термостимулированную агрегацию дефектов, а отжиг до 653К, показывает присутствие металлических коллоидов.

Исследование с помощью АСМ скола облученного кристалла вдоль трека иона показал начало процесса наноструктурирования вдоль трека с созданием нанокристаллитов и в конце трека – дислокации. Монокристалличность для данной энергии иона и плотности ионного тока сохранена в большей степени о чем свидетельствуют розетки дислокаций при наноиндентировании.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Т. Акылбеков,  
канд. физ.-мат. наук, доцент А. К. Даулетбекова

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЛАКСАЦИИ НА ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКАХ

А. А. Настулявичус

Череповецкий государственный университет

При исследовании фазового перехода в сегнетоэлектрических системах применен программный комплекс МК-ORDER, который был создан в Череповецком государственном университете для компьютерного моделирования молекулярных систем методом Монте-Карло.

При выполнении компьютерного моделирования выбирается модель, которая определяется химическим строением вещества и его структурой, а также параметры, определяемые природой связи между частицами. При сопоставлении экспериментальных данных и результатов, полученных с помощью моделирования, можно протестировать правильность выбранной модели, а также определить микроскопические параметры рассматриваемой системы.

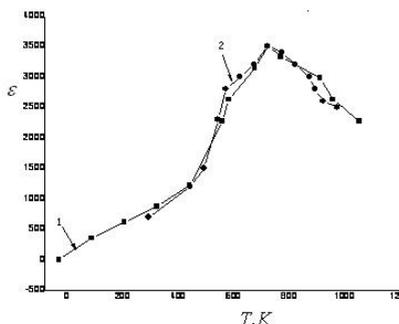


Рис.1. Зависимость диэлектрической проницаемости  $\text{SrTiO}_3\text{-BiScO}_3$  от температуры. Кривая 1 – результаты численного моделирования, 2 – эксперимент [1]

фазового перехода, так и к смещению самой точки перехода. На рис.1 приведены температурные зависимости диэлектрической проницаемости системы  $\text{SrTiO}_3\text{-BiScO}_3$ , вычисленные экспериментально [1] и с помощью компьютерного моделирования.

Метод Монте-Карло хорошо подходит к исследованию явлений релаксации, так как процесс статистического моделирования на компьютере по своему построению является динамическим процессом. Например, в реальных экспериментах повышение температуры происходит с определенной скоростью, поэтому необходимо учитывать время релаксации. Расчеты показали, что учет времени релаксации приводит как к размытию

---

1. Иванов О.Н., Даньшина Е.П. Релаксорные свойства системы  $\text{SrTiO}_3\text{-BiScO}_3$  // Тезисы докладов XIX Всероссийской конференции по физике сегнетоэлектриков. М.: МИРЭА. 2011 г.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент О. Г. Максимова

# СОЗДАНИЕ ФЛУОРОГРАФЕНА ПУТЕМ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ГРАФЕНА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЫ

Н. А. Небогатикова

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Для направленного изменения свойств графена в настоящее время широко используются методы химической функционализации. В нашей работе в качестве химического реагента использовалась плавиковая кислота  $\text{HF}$ , исследовались изменения свойств графена после обработки в ней.

Предложена и реализована технология создания флуорографена путем обработки графена или многослойных графеновых структур толщиной от 0.5 до 15 м в 5 % водном растворе плавиковой кислоты.

Обнаружен резкий по времени переход металл – диэлектрик при обработке в течение некоторого времени  $t_r$ . Вывод о формировании флуорографена основан на характерном изменении спектров комбинационного рассеяния. Показано что проводимость структур зависит от толщины образцов и времени обработки. Проводимость образцов, обработанных в течение времен меньше  $t_r$  практически не меняется, по сравнению с исходной. Исследованы изменения в морфологии поверхности в зависимости от времени обработки и показано, что для времен  $t < t_r$  наблюдается формирование непроводящей сетки с рельефом несколько нанометров. Для времен  $t > t_r$  наблюдается формирование гофрированной поверхности с периодом порядка 200–300 нм и высотой 4–10 нм. Увеличение времени обработки приводит к уменьшению периода и увеличению высоты рельефа. Проводимость структур, созданных обработкой с длительностью близкой, но меньше  $t_r$ , модулируется напряжением на затворе (измерения в транзисторной конфигурации) на 4–5 порядков, тогда как в исходных слоях проводимость изменялась напряжением на затворе всего на несколько процентов. Блокирование проводимости таких структур вблизи точки нейтральности позволяет предположить открытие транспортной запрещенной зоны величиной  $\sim 1$  эВ.

Найдено, что предварительная обработка структур в изопропиловом спирте подавляет взаимодействие с ионами фтора, приводящее к формированию флуорографена. Это обеспечивает возможности для локального перевода графена в флуорографен и открывает новые интересные перспективы использования функционализации графена в водном растворе плавиковой кислоты для дизайна приборных структур.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук И. В. Антонова

## КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ $a\text{-Si:H/SiO}_2$

Д. В. Нестеров

Институт физики полупроводников СО РАН

*Аннотация:* Данная работа посвящена созданию и кристаллизации многослойных наноструктур (МНС) на основе  $a\text{-Si:H/SiO}_2$ . Были получены результаты по созданию таких структур (методами плазмохимического осаждения и окисления) и последующей их кристаллизации печным отжигом (в случае тугоплавкой подложки) и с помощью импульсных лазерных обработок (в случае нетугоплавкой подложки).

МНС  $nc\text{-Si/оксид}$  обладают интенсивной фотолюминесценцией при комнатной температуре в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра, связанной с квантово-размерным эффектом в квантовых точках Si, что открывает реальные перспективы применения таких структур при создании источников света по современной планарной кремниевой технологии. Важным достоинством МНС  $nc\text{-Si/оксид}$  является возможность управления в широких пределах величиной оптической щели материала путем изменения толщины исходных слоев  $a\text{-Si}$  или  $\text{SiO}_x$ , благодаря которому наиболее интересным применением этих структур является их встраивание в солнечные элементы. Кристаллизация исходных структур с помощью лазерного отжига позволяет избежать использования тугоплавких подложек, тем самым заметно упрощая технологию создания структур.

Степень кристаллизации исходных структур определялась сравнением спектров комбинационного рассеяния света до и после обработок.

Была проведена полная кристаллизация структуры на тугоплавкой подложке в результате печного отжига при температуре  $1100^\circ\text{C}$  в течении 120 минут.

Была проведена частичная кристаллизации структуры на нетугоплавкой подложке в результате импульсных лазерных обработок YAG:Nd лазером ( $\lambda=355$  нм, 8 нс), и XeCl лазером ( $\lambda=308$  нм, 15 нс).

Наличие примеси атомарного водорода в исходных структурах (до 35%) препятствует полной кристаллизации образца импульсным лазерным нагревом: при резком нагревании водород имеет свойство собираться в пузыри, отслаивающие пленку. В дальнейшем будут использоваться образцы, прошедшие предварительную дегидрогенизирующую обработку, что позволит провести полную кристаллизацию структуры с помощью лазерного нагрева.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. А. Володин

## ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ $\text{LiKSO}_4$ АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ ОЛОВА

Н. Ж. Нышанова

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана

Ионы  $\text{Sn}^{2+}$  относятся к группе ртутеподобных. В отличие от ионов таллия, они для кристалла сложного литий-калий сульфата являются гетеровалентными примесными ионами. Известно, что гетеровалентные ртутеподобные примесные ионы образуют два типа примесных центров люминесценции, т.е. могут замещать катионы в обоих узлах.

Были получены спектры излучения и возбуждения для кристаллов  $\text{LiKSO}_4\text{-Sn}^{2+}$ , измеренные при температуре жидкого азота. Спектр излучения измерен при облучении кристалла УФ-светом в полосе 5.6 эВ. Наблюдается элементарная оптическая полоса излучения, максимум которой приходится на 3.94 эВ. Однако эти полосы в спектрах излучения и возбуждения фотолюминесценции не являются единственными. Спектр излучения измерен при облучении кристалла  $\text{LiKSO}_4\text{-Sn}^{2+}$  в полосе 4.9 эВ. Как и в предыдущем случае наблюдается одиночная полоса излучения. Ее максимум находится при 3.52 эВ.

У примесных центров олова в изучаемой матрице спектры излучения и возбуждения фотолюминесценции разбиваются на две группы, данный активатор образует в сложном литий-калий сульфате два типа центров свечения, замещая ионы калия и лития.

Анализ контуров оптических полос полученных спектров показал, что спектры излучения хорошо аппроксимируются гауссовыми кривыми. Спектры возбуждения имеют значительную асимметрию. Мы считаем, что наблюдаемые переходы связаны А-полосами ртутеподобных ионов. Возбужденный уровень  $^3\text{P}_1$  частично расщеплен в обоих случаях независимо от вида кислородного окружения.

Снятие вырождения возбужденного состояния примесных ионов олова независимо от симметрии кислородного окружения можно объяснить локальной компенсацией заряда, т.е. наличием вблизи катионной вакансии.

Для ионов олова спектры излучения и возбуждения фотолюминесценции по типам центров не соотнесены, так как симметрия данных центров свечения, по-видимому, в обоих катионных узлах кристаллической решетки близки или одинаковы. Можно заявить только одно: их точечная группа симметрии ниже  $T_d$ .

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук., доцент Г. Е. Сагындыкова

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОКРИСТАЛЛОВ ГЕРМАНИЯ, ВКЛЮЧЕННЫХ В СЛОИ ОКСИДА КРЕМНИЯ

О. О. Олейникова

Физико-технический институт

Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,  
г. Якутск

Нановключения (квантовые точки), погруженные в тонкие диэлектрические слои, играют определяющую роль в разработке нового поколения элементов энергонезависимой памяти. Особый интерес представляют диэлектрические слои, содержащие нанокристаллы Si или Ge в связи с их применением для разработки оптоэлектронных приборов.

Исследования проводились на нанокompозитных слоях Ge:SiO<sub>2</sub>, созданных методом магнетронного распыления в аргоновой плазме из двух источников SiO<sub>2</sub> и Ge, находящихся на расстоянии примерно 100 мм друг от друга. Создавался слой окисла толщиной 450 нм, в котором концентрация избыточного германия в слое меняется вдоль образца в широких пределах от 0 до 100%. Последующий отжиг при температуре 550-700<sup>0</sup>С проводился с целью формирования германиевых нанокристаллов. Использование слоев с варьируемым составом позволяет изучать зависимость тех или иных свойств и процессов от концентрации нанокристаллов и их размеров.

В качестве базовой методики исследования, использовалась зарядовая спектроскопия глубоких уровней (Q-DLTS) в сочетании с комплексом других электрофизических методов (вольт-фарадные и вольт-амперные характеристики, частотные характеристики емкости).

Проведен анализ вольт-фарадных характеристик нанокompозитных слоев Ge:SiO<sub>2</sub> в зависимости от концентрации германия и частоты подаваемого сигнала. При частоте 1 кГц на вольт-фарадных характеристиках появляются пики, а с увеличением частоты – исчезают. Возможно, это связано с тем, что на высоких частотах электроны в инверсионном слое не могут следовать за изменением напряжения, приложенного в структуре. На более низких же частотах электроны могут следовать за модуляцией напряжения и туннелировать через слой диэлектрика, приводя тем самым к образованию пиков.

Методом зарядовой спектроскопии глубоких уровней (Q-DLTS) обнаружено, что выброс носителей с нанокристаллов германия в матрице SiO<sub>2</sub> является термически активируемым процессом. Также показано, что исследование нанокристаллов позволяет наблюдать захват и выброс носителей на уровне размерного квантования в нанокристаллах, расположенных вблизи границы Ge:SiO<sub>2</sub>.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент С. А. Смагулова

## ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ GaN/AlGaN ГЕТЕРОСТРУКТУР С ДВУМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ГАЗОМ

И. В. Осинных

Институт физики полупроводников СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Гетероструктуры AlGaN/GaN представляют большой интерес благодаря своим электрическим свойствам. Как известно, различие постоянных решеток GaN и AlGaN приводит к появлению встроенного электрического поля из-за спонтанной поляризации и поляризации, обусловленной механическими деформациями на гетерогранице. Это приводит к возникновению потенциальной ямы для электронов на границе GaN/AlGaN, в которой образуется двухмерный электронный газ (2ДЭГ).

Ранее методом фотолюминесцентной спектроскопии были исследованы GaN/AlGaN гетероструктуры с 2ДЭГ: первый образец – методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) из аммиака, второй – методом газофазной эпитаксии из металлорганических соединений (МОСГФЭ). При возбуждении импульсным N<sub>2</sub> лазером, дающим высокий уровень возбуждения, в спектре МОСГФЭ образца при гелиевой температуре наблюдалось появление полос, которые предположительно связаны с рекомбинацией 2ДЭГ электронов с дырками на возбужденных состояниях глубоких акцепторов. Целью данной работы стало исследование полос в спектрах ФЛ МОСГФЭ образца, связанных с глубокими акцепторами и выяснение их энергетической структуры. Фотолюминесценция (ФЛ) возбуждалась непрерывным He-Cd лазером (длина волны излучения,  $\lambda=325$  нм, средняя мощность, P=13 мВт). Измерения проводились в диапазоне температур 5 – 120 К.

В спектрах ФЛ наблюдалась серия интенсивных широких полос, пики которых находились на 3,17, 3,12 и 3,05 эВ. Поскольку при уменьшении интенсивности возбуждения эти полосы сдвигаются в сторону низких энергий и уширяются, они связаны с донорно-акцепторной рекомбинацией на дополнительном акцепторе. Предположительно, в качестве такого акцептора выступают структурные дефекты на гетерогранице GaN/AlGaN. Интенсивность этих полос была разной для различных точек образца, что свидетельствует о неравномерном распределении акцепторов в образце. Также было обнаружено уменьшение интенсивности полос во времени. За два часа интенсивность падает в два раза.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук К. С. Журавлев

## ХАРАКТЕРИСТИКИ GaN И AlN В СТРУКТУРЕ ВЬОРТЦИТА

М. Ю. Пермякова, С. В. Обухов  
Томский государственный педагогический университет

В последние годы усилия ученых и разработчиков направлены на исследование и развитие новых многообещающих широкозонных полупроводников. Чтобы обеспечить работу приборов на их основе, нужно знать энергетические характеристики рабочих материалов, из которых состоят эти приборы. Кроме того для расчета энергетических характеристик таких как электропроводность материала, подвижность носителей заряда, необходимо знать физические параметры процессов рассеяния электронов на фононах.

Характеристики GaN и AlN были вычислены с использованием программы Espresso3.2 [1] самосогласованным образом при расчетных значениях постоянных решетки. Для всех кристаллов запрещенная зона в расчете оказывается сильно заниженной, по сравнению с экспериментальной, что является хорошо известным недостатком метода функционала электронной плотности.

Для вьортцитной модификации w-AlN и w-GaN расчет констант электрон-фононной связи в зоне проводимости проведен для перехода между центром зоны Бриллюэна  $\Gamma$  и боковым минимумом, который находится на симметричном направлении между точками L и M в точке S (0.5, 0.2886, 0.2141) $2\pi/a$ .

Деформационные потенциалы для перехода  $\Gamma - S$  в зоне проводимости в w-GaN в структуре вьортцита приведены в таблице

Тип фонона	LO	LO	LA	LA
Деформационный потенциал (eV/Å)	1.59	0.59	0.48	3.98

Деформационные потенциалы для перехода  $\Gamma - S$  в зоне проводимости в w-AlN в структуре вьортцита приведены в таблице

Тип фонона	LO	LO	LA	LA
Деформационный потенциал (eV/Å)	3.78	1.87	1.84	0.45

Для рассеяния на остальных фононах деформационные потенциалы равны нулю в соответствии с правилами отбора по симметрии.

---

1. Baroni S. et al. // <http://www.pwscf.org>.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Г. Тютюрев

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТВРЕДОТЕЛЬНЫХ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СРЕД

С. А. Подорожняк, В. И. Устинов, Д. Ш. Каландаров  
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В условиях мирового энергетического и экологического кризиса особую актуальность приобретает вопрос создания эффективных генераторов электроэнергии, не представляющих угрозу человеку и окружающей среде. Одним из перспективных направлений в этом плане считается создание термоэлектрического элемента для нужд малой энергетики, способного работать при низких, естественных перепадах температур, начиная от двадцати градусов. Для этого в первую очередь необходим термоэлектрический материал, обладающий максимально возможным произведением коэффициента Зеебека и электропроводности.

Одним из подходов к повышению эффективности термоэлектрического преобразования является использование наноматериалов и гетероструктур [1], например формирование на поверхности полупроводника пористого слоя со структурными размерами элементов менее 1 мкм [2].

В рамках данной работы нами были определены коэффициент Зеебека и удельная электропроводность исходных материалов (Si, GaAs, InAs), затем методами электрохимического анодирования и электроэрозионной обработки сформированы слои различной пористости на кремнии и арсениде галлия n- и p-типов. Затем определялись удельная электропроводность и коэффициент Зеебека наноструктурированных материалов относительно материала-эталоны (платина) и между собой.

Обнаружены общие тенденции, проявляющиеся как в некотором снижении электропроводности, так и в абсолютном повышении коэффициента Зеебека в пористых полупроводниках по сравнению с монолитным материалом. В случае размеров пор менее 100 нм увеличение коэффициента Зеебека преобладает над уменьшением электропроводности в исследуемых полупроводниках.

---

[1] В. Арбютин, С. Нестеров, В. Романько, А. Холопкин. Применение нанотехнологий для создания высокоэффективных термоэлектрических материалов. / Наноиндустрия, 2010, №1, с.24-26

[2] В. С.Закордонец, Г. Н. Логинов. Термоэлектрическая добротность монополярных полупроводников ограниченных размеров. / Физика и техника полупроводников. 1997, Т. 31, № 3, с. 323-325.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Г. Н. Шелованова

## ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА InAs/ОКСИД В ПЛАЗМЕ ТАУНСЕНДОВСКОГО РАЗРЯДА

П. А. Половодов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Создание границы раздела диэлектрик/InAs – важная задача в развитии технологии создания полупроводниковых приборов  $A_3B_5$ . Основной нерешенной проблемой является высокая плотность поверхностных состояний, обусловленная собственным оксидным слоем на поверхности полупроводника сложного состава, что приводит к закреплению уровня Ферми на поверхности. Снижение  $N_{ss}$  до  $<10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$  достигнуто на границе раздела фторсодержащий анодный слой (ФАС)/InAs [1]. Однако данным способом не удается формировать ФАС толщиной менее 10 нм, что приводит к развитию гистерезисных явлений в МДП-структурах. Целью данной работы является разработка способа сухого окисления InAs в низкотемпературной плазме ( $<10 \text{ эВ}$ ) таунсендовского разряда для формирования тонких ( $<5 \text{ нм}$ ) анодных слоев (ТАС), а также изучение влияния фтора на физико-химические свойства этих слоев и электрофизические параметры границы раздела ТАС/InAs.

При отработке режимов окисления были изучены условия зажигания разряда, обеспечивающие однородное горение разряда между катодом и анодом (InAs), и равномерный рост оксидного слоя по площади образца. В оптимизированной конструкции реактора изучено влияние параметров роста слоев (ток, напряжение, время окисления, давление, соотношение концентрации кислорода, аргона и  $CF_4$ ) на образование равномерных по площади образца ТАС различной толщины. Толщина слоев контролируется методом сканирующей эллисометрии. Методами АСМ и РФЭС изучено влияние фтора на состав и морфологию слоёв. Методом ВФХ изучены параметры МДП-структур Au/ТАС/InAs. В присутствии фтора наблюдается увеличение скорости окисления InAs и улучшение однородности слоев по площади образца. Показано, что окисление в таунсендовском разряде приводит к образованию пентавалентного мышьяка и формированию границы раздела  $HfO_2/TAO/InAs$  с  $N_{ss} \leq 4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$ .

---

1. Н.А.Корнюшкин, Н.А.Валишева, А.П.Ковчавцев, Г.Л.Курышев, ФТП, 30(5) 914(1996)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О. Е. Терещенко

## АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ТЕРМОЭДС РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ ДО 20 ГПА

О. Ю. Попова, Н. В. Морозова, В. В. Щенников  
Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург

Высокое давление изменяет, как кристаллическую решётку, так и электронную структуру материалов. Эффект Зеебека (термоэдс) является мощным инструментом для изучения сжатого вещества, поскольку величина и знак этого эффекта чувствительны к изменениям кристаллической и электронной структуры [1]. В работе проанализированы литературные данные электронной структуры редкоземельных металлов (скандия, иттрия, лантана, европия и иттербия) при высоком давлении до 20 ГПа. Теоретические расчёты, полученные различными численными методами, сопоставлены с новыми экспериментальными данными термоэлектрических исследований до 20 ГПа. На основе этих и ранее полученных результатов для десяти других редкоземельных элементов [2] исследованы общие закономерности поведения термоэдс всех редкоземельных металлов при высоком давлении, связанные с  $s \rightarrow d$  электронным рассеянием. Монотонный рост термоэдс от почти нулевого значения  $\sim \pm(1-2)$  мкВ/К (при  $P=0$  ГПа) до величины  $\sim +(8-10)$  мкВ/К (при  $P=5$  ГПа) наблюдается для тех редкоземельных элементов, в которых под давлением происходит известная последовательность структурных изменений ( $hcp \rightarrow Sm\text{-}type \rightarrow dhcp \rightarrow fcc \rightarrow dfcc$ ). Другое поведение демонстрирует термоэдс церия, иттербия и лантана, что согласуется с особенностями структурных фазовых диаграмм этих металлов [3]. Впервые определены значения термоэдс в фазах высокого давления всех редкоземельных металлов до 20 ГПа.

Работа частично поддержана грантами РФФИ и Программы Президиума РАН.

1. V. V. Shchennikov, S. V. Ovsiyannikov, and A. Y. Manakov, Measurement of Seebeck effect (thermoelectric power) at high pressure up to 40 GPa, *J. Phys. Chem. Solids* 71, 1168 (2010).
2. В. В. Щенников, Н. В. Морозова, С. В. Овсянников, «Термоэдс редкоземельных металлов при высоком давлении до 20 ГПа», *Материалы XLIX международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» Физика*, 175 (2011).
3. W. B. Holzapfel, *Physics of solids under strong compression*, *Rep. Prog. Phys.* 59, 29-90 (1996).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. В. Щенников

## НЕЛИНЕЙНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЁНКАХ НИТРИДА ТИТАНА

С. В. Постолова, А. Ю. Миронов, Т. И. Батурина  
Институт физики полупроводников им. А. А. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Представлены результаты экспериментального исследования низкотемпературных транспортных свойств тонких плёнок нитрида титана, в частности, эволюции вольтамперных характеристик, сопровождающей переход в сверхпроводящее состояние. Показано, что данный переход происходит в две стадии. При уменьшении температуры до  $T = T_c$  ( $T_c$  – критическая температура сверхпроводящего перехода) возникает отличный от нуля модуль параметра порядка, затем при более низкой  $T_{BKT}$  температуре перехода Березинского–Костерлица–Таулеса устанавливается макроскопическая фазовая когерентность параметра порядка. При переходе БКТ изменяется характер вольтамперных характеристик [1]: омическая зависимость  $V \propto I$  (при малом токе), наблюдаемая при  $T > T_{BKT}$ , сменяется степенной  $V \propto I^\alpha$  ( $\alpha = 3$  при  $T_{BKT}$ ) зависимостью, которая обрывается резким скачком напряжения при некотором токе [2]. При дальнейшем понижении температуры возрастает показатель степени  $\alpha$ , и сохраняется скачек напряжения в вольтамперных зависимостях. Примечательно, что даже при температурах  $T > T_c$  вольтамперные характеристики являются существенно нелинейными при больших токах, оставаясь, однако достаточно плавными – без прыжка напряжения, характерного для кривых при  $T < T_{BKT}$ . Поведение вольтамперных характеристик было рассмотрено в рамках модели перегрева, основанной на уравнении теплового баланса [3]. Определены значения константы электрон-фононного взаимодействия и показателя степени, характеризующего температурную зависимость времени электрон-фононной релаксации.

1. B. I. Halperin and D. R. Nelson, Resistive transition in superconducting films, J. Low. Temp. Phys. 36, 599 (1979).
2. T. I. Baturina, S. V. Postolova, A. Yu. Mironov, A. Glatz, M. R. Baklanov and V. M. Vinokur, Superconducting phase transitions in ultrathin TiN films, Europhys. Lett. 97, 17012 (2012).
3. А. Ф. Волков, Ш. М. Коган, Физические явления в полупроводниках с отрицательной дифференциальной проводимостью, Усп. Физ. Наук 96, 633 (1968).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент. Т. И. Батурина

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПЛЕНОК $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$

М. С. Рахимова, О. С. Букина, А. С. Батырханов  
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск  
Восточно-Казахстанский государственный университет им. Аманжолова,  
г. Усть-Каменогорск

В последние годы активно развивается новый подход к управлению свойствами полупроводников, основанный на формировании в полупроводниковой матрице наноразмерных кластеров, в состав которых могут входить атомы собственных компонентов, а также собственные точечные дефекты кристаллической решетки. [1]

В своей работе мы предлагаем взять за основу для создания квантовых точек металлические магнитные нанокристаллические пленки  $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$ , которые могут обладать полупроводниковыми свойствами. Спектры поглощения пленок  $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$  на спектрометре Shimadzu UV-3600 содержат пик на длине волны 1320 нм.

Пленки  $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$  получены методом термического вакуумного осаждения на установке ВУП-4 на подложки из стекла и NaCl. Технология создания квантовых точек с помощью криомеханической обработки полученных пленок проста и экономична. Структура пленок исследована методом просвечивающей электронной микроскопии и микродифракции на приборах ПРЭМ-200 и JEM-2100. Под воздействием криомеханической обработки формируется неоднородная кластерная аустенито-мартенситная структура, которая обуславливает эффекты магнитного последействия. Для изучения магнитных свойств использовались метод крутящих моментов на магнитометре и индукционный метод построения петель гистерезиса с помощью феррометра.

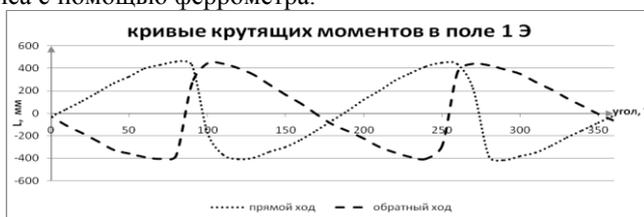


Рисунок 1. Кривые крутящих моментов пленочных образцов  $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$   
Авторы выражают благодарность лаборатории «ИРГЕТАС» за помощь в выполнении работы.

1. М. Г. Мильвидский, В. В. Чадышев, ФизТП, 1998, том 32, №5, с. 513-522

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. И. Квеглис

# ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО СЛОЯ ТРОЙНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$

У. Х. Рахмонов

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце», г. Ташкент

В работе представлены результаты по исследованию фотолюминесценции тройных твердых растворов (ТР)  $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ .

ТР  $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$  выращивались методом жидкофазной эпитаксии из ограниченного объема оловянного раствора-расплава, состоящего из компонентов Sn–Si–ZnSe–GaP в атмосфере водорода [1]. В качестве подложек были использованы монокристаллические Si шайбы КДБ-0.01 и КЭФ-5 с диаметром 20 мм, ориентацией (111). Выращенные пленки имели *n*-тип проводимости.

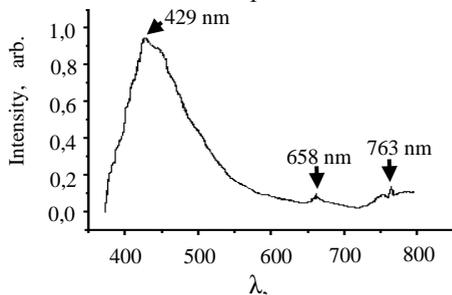


Рис.1. Спектр фотолюминесценции ТР  $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$  при температуре жидкого азота - 77 К.

Снимался спектр фотолюминесценции (ФЛ) выращенного ТР, который показан на рис. 1. Возбуждение ФЛ производилось лазерным излучением со стороны эпитаксиального слоя при температуре жидкого азота (77 К). Как видно из рис. 1 спектр ФЛ ТР имеет широкую полосу, охватывающую весь видимый диапазон спектра излучения, начиная от 380 до

800 нм с максимумом излучения при  $\lambda_{\text{max}} = 429$  нм, что соответствует энергии фотонов  $E_{\text{ph}} = 2.89$  эВ. Интересным результатом является возникновение пиков излучения с небольшими интенсивностями при энергиях фотонов  $E_{\text{ph}} = 1.8$  эВ и  $E_{\text{ph}} = 1.62$  эВ, которые, по-видимому, обусловлены ковалентными связями Ga-P и Si-Si находящихся в узлах тетраэдрических связей ТР  $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ , соответственно.

1. Саидов А.С., Саидов М.С., Усмонов Ш.Н., Рахмонов У.Х. Тепловольтгаический эффект pSi-n $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$  структур. Гелиотехника. – 2010. – №1. - с.62-64.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Саидова

## ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЛЮМИНОФОРА НА ЦВЕТОВУЮ ТЕМПЕРАТУРУ ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ «СИНИЙ СВЕТОДИОД-ЛЮМИНОФОР»

О. Л. Роденко, А. В. Мошкина

Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники

Исследованы 4 образца люминофоров различной толщины при прохождении синего света светодиода сквозь слой люминофора, нанесенного тонким слоем на поверхность стекла. Люминофор имеет максимум в спектре люминесценции при 580-680 нм с полушириной полосы излучения 120-140 нм и при смешивании с излучением светодиода дает белый свет с цветовой температурой 4000-5000 К. Из этих спектров излучения рассчитаны цветковые температуры.

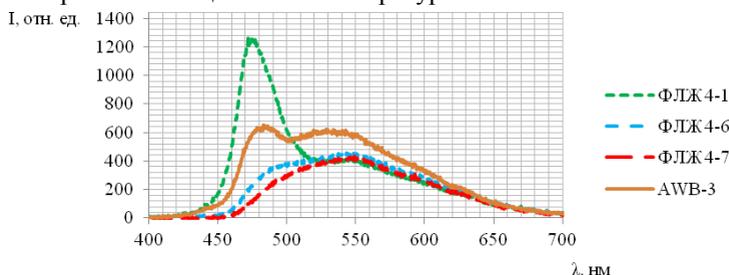


Рисунок 1. Спектры излучения системы «синий светодиод-люминофор» с разными образцами люминофоров

Таблица 1. Исследуемые образцы люминофоров

Образец	Толщина, мкм	Цветовая температура, К
ФЛЖ-7-11 4-1	296	8822
ФЛЖ-7-11 4-6	440	4707
ФЛЖ-7-11 4-7	558	4395
AWB-3	210	5662

Чем интенсивнее пик в синей области, тем больше значение цветковой температуры, следовательно, тем холоднее свет. Наиболее приближено к нейтральному белому свету излучение образцов 4-6 и AWB-3. С уменьшением толщины слоя люминофора возрастает цветковая температура излучения системы «синий светодиод-люминофор»: у образца толщиной 296 мкм цветковая температура излучения составляет 8822 К; у образца с толщиной 558 мкм – 4395 К.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. С. В. Смирнов

## ВЛИЯНИЕ ИК-ОБЛУЧЕНИЯ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ ВТО:Al

В. Г. Дю, О. А. Русякина, Т. Г. Матвиенко, В. В. Попугаева,  
А. С. Акрестина  
Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники

**В работах [1,2] выявлено, что последовательное облучение кристаллов  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  светом из видимой и ближней ИК областей спектра приводит к обратимым изменениям оптического поглощения.**

В данной работе исследовались спектральные зависимости изменений оптического поглощения в диапазоне 440 – 1100 нм для кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$  (ВТО:Al) после засветки его импульсным лазерным ИК излучением с длиной волны  $\lambda_e=1064$  нм и средней интенсивностью 250 мВт/см<sup>2</sup> в течение 20 минут.

Все эксперименты проводились при комнатной температуре. Выявлено, что ИК-облучение приводит к уменьшению коэффициента поглощения образца во всем исследуемом диапазоне длин волн, а при последующей засветке светодиодом с длиной волны  $\lambda = 596$  нм происходит восстановление оптического поглощения кристалла до исходного состояния. Наведенные изменения в поглощении демонстрируют резонансный характер с максимумами на длинах волн 580, 705, 760 и 840 нм.

**Полученные экспериментальные зависимости были аппроксимированы в рамках модели, учитывающей при вкладе в примесное поглощение два типа переходов: фотовозбуждения электронов в зону проводимости с глубоких донорных центров и внутрицентровых переходов, которые могут быть связаны с существованием в кристалле ассоциатов в виде донорно-акцепторных пар.**

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (Гос. контракт № 02.740.11.0553). Авторы благодарят С.М. Шандарова за постановку задачи и полезные консультации.

1. М.Г. Кистенева, С.М. Шандаров, А.С. Акрестина, В.В., Попугаева, С.В. Смирнов // Изв. вузов. Физика. – 2010. – № 9/3. – С. 145-146.
2. М.Г. Кистенева, С.М. Шандаров, А.С. Акрестина, А.С. Вишнев, Ю.Ф. Каргин, А.Л. Толстик. // Химия высоких энергий.- 2008. Т.42. №4 (приложение). С. 55-57.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент М. Г. Кистенева

# ПЕРВОПРИНЦИПНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНОК АНТИМОНИДА МАРГАНЦА

А. Г. Рябищенкова, И. П. Русинов, М. М. Отроков, Е. В. Чулков  
Томский государственный университет

Пниктиды марганца, такие как  $MnSb$  и  $MnBi$ , привлекают значительное внимание благодаря своим необычным магнитным и магнито-оптическим свойствам [1]. Примечательно также, что тонкие пленки таких соединений образуют довольно стабильный интерфейс с  $GaAs$ , что открывает широкие возможности их применения в роли спиновых инжекторов в прототипах светоизлучающих диодов [2]. Благодаря развитию микроэлектроники в направлении уменьшения размера функциональных элементов, возникает потребность в применении ультратонких пленок (УТП). Следовательно, изучение структуры, магнитного порядка и электронных свойств УТП пниктидов марганца как потенциальных материалов спинтроники является актуальной задачей.

В данной работе в рамках метода псевдопотенциала [3] исследованы УТП антимонида марганца толщиной в один, два и три бислоя (БС) без подложки (БС состоит из монослоя  $Mn$  и монослоя  $Sb$ ). На основе расчетов полных энергий показано, что кристаллическая структура УТП  $MnSb$  является структурой типа  $NiAs$ , что свидетельствует об эпитаксиальной совместимости рассматриваемых УТП с подложкой  $GaAs(111)$ . При этом рассогласование рассчитанных параметров решеток УТП  $MnSb$  и арсенид-галлиевой подложки не превышает 4.5 %. Обнаружено, что ферромагнитное (ФМ) упорядочение является энергетически наиболее выгодным для рассматриваемых УТП на всем диапазоне толщин, однако в двойном БС  $MnSb$  ФМ-конфигурация всего на 6 мэВ/(2 ат.  $Mn$ ) более стабильна, чем межслоевая ферромагнитная конфигурация.

Отметим, что электронный спектр бислоевой пленки имеет характер ФМ-полуметалла с величиной запрещенной щели 0.72 эВ и магнитным моментом  $4\mu_B$  на расчетную ячейку. При переходе от одинарного БС  $MnSb$  к двойному полуметалличность теряется и спиновая поляризация на уровне Ферми снижается до 35 %, в то время как для тройного БС она составляет 37 %.

- 
1. R. A. de Groot, F. M. Muelleret et al., Phys. Rev. Lett.50, 2024 (1983).
  2. T. Hanna et al., J. Cryst. Growth 323, 383 (2011).
  3. G. Kresse and J. Hafner, Phys. Rev. B48, 13115 (1993).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. М. Кузнецов

## РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ПОВЕРХНОСТИ GaAs(001) С АДсорБИРОВАННЫМИ СЛОЯМИ ЦЕЗИЯ

М. Л. Савченко

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Изучение релаксационных процессов, обусловленных диффузией и встраиванием атомов, адсорбированных на поверхности полупроводников, представляет научный и практический интерес. Практический интерес связан с тем, что релаксация структуры неравновесных слоев адсорбата играет существенную роль при температурах вблизи комнатной  $T=300$  К, при которых изготавливаются и используются GaAs(Cs,O) фотокатоды с эффективным отрицательным электронным средством (ОЭС). Атомные релаксационные процессы приводят к кинетике электронных характеристик поверхности, и в частности, электронного средства и поверхностного изгиба зон, которые определяют величину ОЭС и квантовый выход фотокатода. Условия и причины таких релаксационных процессов изучены недостаточно. В данной работе с помощью метода спектроскопии фотоотражения (ФО) экспериментально изучено влияние температуры и стехиометрии исходной поверхности GaAs(001) на дозовые зависимости и релаксацию изгиба зон при нанесении неравновесных субмонослойных слоев цезия. Спектры ФО измерялись при нанесении цезия на атомарно-чистые поверхности GaAs(001) с различным соотношением галлия и мышьяка в поверхностном слое. Поверхностное поле и величина изгиба зон определялись по периоду осцилляций Франца-Келдыша. В эксперименте величина сигнала ФО измерялась как функция времени и энергии фотонов непрерывно, в процессе нанесения цезия и при последующей релаксации в адсорбированном слое. Спектры ФО, соответствующие фиксированным моментам времени и, следовательно, фиксированным значениям параметров системы, определялись путем интерполяции полученного массива данных.

Установлено, что в отличие от адсорбции на Ga-обогащенной поверхности, при которой амплитуда кинетики изгиба зон достигает ~10-20% от начальной величины, на As-обогащенной поверхности эта амплитуда существенно меньше ( $\leq 5\%$ ) и слабо зависит от Cs покрытия. При увеличении температуры в сравнительно узком диапазоне (от  $T=20^\circ\text{C}$  до  $130^\circ\text{C}$ ) качественно изменяется форма дозовых зависимостей изгиба зон и происходит значимое увеличение амплитуды кинетики.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Л. Альперович,  
канд. физ.-мат. наук А. Г. Журавлев

# РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ, ЭМИТИРОВАННЫХ GaAs-ФОТОКАТОДОМ С ОЭС

А. А. Сапожник

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

При нанесении на поверхность р-GaAs цезия и кислорода, приповерхностная область переходит в состояние эффективного отрицательного электронного сродства (ОЭС). Фотокатоды на основе р-GaAs(Cs, O) давно и успешно используются в приборах ночного видения и источниках электронов. Несмотря на долгую историю исследований, механизмы формирования энергетических распределений электронов, эмитированных из GaAs-фотокатода, до конца не поняты. В данной работе предлагается новый, вариант методики исследования функции распределения фотоэлектронов  $\rho(\epsilon_{\parallel}, \epsilon_{\perp})$  по продольным ( $\epsilon_{\parallel}$ ) и поперечным ( $\epsilon_{\perp}$ ) энергиям на основе миниатюрного фотоэлектронного спектрометра, состоящего из планарного фотокатода (ФК), планарного анода (А) с маленьким отверстием в центре и коллектора электронов (К). Принцип работы спектрометра состоит в следующем. В центр ФК фокусируется лазерное пятно диаметром  $\sim 3$  мкм и эмитированные электроны движутся по направлению к А в коллинеарных электрическом (Е) и магнитном (Н) полях. Регистрируется ток электронов  $J_{ph}$ , прошедших отверстие в аноде и попавших на коллектор. При изменении «тормозящего» поля Е и «фокусирующего» поля Н изменяются «продольная» и «поперечная» компоненты энергии электронов, регистрируемых К, соответственно. Измерив зависимость тока  $J_{ph}$  от (Е,Н) и решив обратную задачу, можно восстановить  $\rho(\epsilon_{\parallel}, \epsilon_{\perp})$ .

Для оптимизации спектрометра и режимов его работы проведен компьютерный расчёт  $J_{ph}$  (Е,Н) в зависимости от формы его узлов и приложенных напряжений. Определены искажения траекторий движения электронов вблизи отверстия в аноде, обусловленные неоднородностью электрического поля в этой области. Определены оптимальные размеры прибора и значения потенциалов на электродах, обеспечивающие минимальную погрешность измерения  $J_{ph}$  (Е,Н), максимальное разрешение анализатора по продольным и поперечным энергиям.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Терехов

# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ВАКАНСИЙ В МОНОСЛОЕ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО НИТРИДА БОРА

М. В. Сержантова

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В представленной работе проводилось исследование магнитных свойств вакансий в монослое h-BN. В частности, исследовалось влияние расстояния между вакансиями на переход из ферромагнитного состояния в антиферромагнитное, и наоборот.

Расчеты проводились в рамках формализма теории функционала плотности (Density Functional Theory) с использованием пакета VASP (Vienna Ab-initio Simulation Package).

Исследовалось ферромагнитное, антиферромагнитное и немагнитное состояния. Ферромагнитное состояние было получено автоматически при использовании спин-поляризованного расчета. Антиферромагнитное состояние задавалось с помощью чередования магнитных моментов на атомах, окружающих вакансию. Для сравнения, для каждой из структур, рассчитывалось немагнитное состояние, в котором суммарный магнитный момент был равен нулю. Установлено, что немагнитное состояние является энергетически невыгодным.

Для монослоев h-BN магнитный момент в системе появляется при наличии вакансий, как бора, так и азота. В обоих случаях, атомы, окружающие вакансию равноудалены друг от друга. Спиновая плотность равномерно распределена на атомах, окружающих вакансию, при этом проекции спинов имеют одинаковое направление.

В случае вакансии бора наблюдается переход от антиферромагнитного к ферромагнитному упорядочению. Для монослоя h-BN с вакансией азота характерна обратная ситуация, т.е. переход от ферромагнитного к антиферромагнитному состоянию. В случае вакансии азота значение магнитного момента существенно не изменяется в зависимости от расстояния между вакансиями. Данное явление объясняется электрон-дефицитным состоянием атомов бора, окружающих вакансию азота.

В результате исследований было выявлено, что присутствие вакансий в монослое h-BN приводит к появлению магнитного момента. Показано, что исследуемая система является магнитно упорядоченной. При увеличении расстояния между вакансиями возможен переход от антиферромагнитного к ферромагнитному состоянию, и наоборот. Открытие данного явления открывает новые перспективные возможности в направлении контроля магнитного упорядочения веществ с помощью вакансий.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. А. Кузубов

## СЕРОСОДЕРЖАЩИЕ ТРЕХМЕРНЫЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗОЛЯТОРЫ С ШИРОКОЙ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЩЕЛЬЮ

Ю. В. Сокольническая, Т. В. Меньщикова, Е. В. Чулков  
Томский государственный университет

Появившийся новый класс топологических состояний – топологические изоляторы (ТИ) открывает новые возможности в физике конденсированного состояния вещества. ТИ являются материалами, которые имеют объемную запрещенную щель подобно обычному изолятору, а на поверхности (краю) обладают защищенными проводящими состояниями. Эти состояния возможны благодаря сильному спин-орбитальному взаимодействию, а электроны в этих состояниях защищены от обратного рассеяния на дефектах за счет симметрии относительно обращения времени. Такие свойства ТИ являются перспективными в области спинтроники.

Как показали недавние эксперименты, большое значение для свойств ТИ играют запрещенная щель, положение точки Дирака и дисперсия конуса Дирака. Поэтому актуальным направлением является поиск различных ТИ материалов, имеющих свойства пригодные для практического приложения. В связи с этим в работе проведены первопринципные теоретические расчеты электронной структуры серосодержащих соединений  $\text{Bi}_2\text{STe}_2$ ,  $\text{Sb}_2\text{STe}_2$ ,  $\text{PbBi}_2\text{Te}_2\text{S}_2$  (alecsite). Данные слоистые соединения состоят из 5-ти, 7-ми слойных атомных блоков, разделенных ван-дер-ваальсовскими промежутками. Расчеты показали, что в данных соединениях запрещенная щель гораздо больше по сравнению с «родительскими» ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{PbBi}_2\text{Te}_4$ ) соединениями. В соединении  $\text{Sb}_2\text{STe}_2$  точка Дирака находится вблизи центра запрещенной щели, в отличие от  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ . При замене слоя тяжелых атомов Te на слой более легких атомов S в исследуемых системах существенно уменьшается анизотропия поверхностного состояния.

Таблица 1. Ширина объемной запрещенной щели (meV).

$\text{Bi}_2\text{Te}_3$	$\text{Bi}_2\text{STe}_2$	$\text{Sb}_2\text{Te}_3$	$\text{Sb}_2\text{STe}_2$	$\text{PbBi}_2\text{Te}_4$	$\text{PbBi}_2\text{Te}_2\text{S}_2$
162	284	125	299	123	360

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. М. Кузнецов

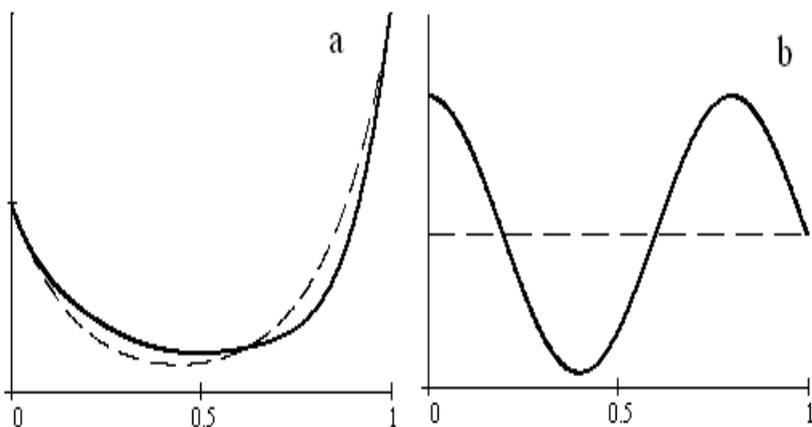
# ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕКОМБИНИРУЮЩЕЙ ПРИМЕСИ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ p-i-n-СТРУКТУРЫ

В. Г. Стельмах

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце», г. Ташкент

Если в p-i-n-структуре с достаточно длинной базой ( $d \gg L$ ,  $d$  – длина базы,  $L$  – длина пробега неравновесных носителей заряда) инжекция пропорциональна плотности тока  $J$ , текущего через p-i-n-структуру (т.е.  $p(0) \sim J$ ), а аккумуляция пропорциональна корню квадратному этой плотности тока (т.е.  $p(d) \sim J^{1/2}$ ), то вольт-амперная характеристика (ВАХ) будет вида  $J \sim U^4$  при условии, что рекомбинирующая примесь  $N_R$  постоянна.

Однако, благодаря процессам самоорганизации распределение  $N_R$  вдоль базы может быть периодическим, например, типа  $N_R = N_{R0} + N_1 \cdot \cos(\omega x + \varphi)$  ( $N_{R0} > N_1$ ). Численными расчётами получено, что ВАХ при таком периодическом распределении будет вида  $J \sim U^{4+\delta}$  ( $-0.7 < \delta < 0.7$ ), где  $\delta$  зависит от отношения  $N_{R0}/N_1$  и  $\omega$ . На рисунке внизу (рис. 1 а) качественно показано как меняется распределение неравновесных носителей  $p(x)$  из-за периодического распределения рекомбинирующей примеси (рис. 1 б), пунктирные линии соответствуют  $N_R = \text{const}$ .



Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Ю. Лейдерман

## ТРАНСПОРТНОЕ ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ И КВАНТОВОЕ ВРЕМЯ ЖИЗНИ В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ GaAs/AlAs

И. С. Стрыгин

Институт физики полупроводников СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Электронные свойства гетероструктур с селективным легированием на основе соединений  $A^3B^5$  уже более 30 лет являются предметом изучения. Это связано с тем, что в таких структурах в настоящее время достигнута наибольшая низкотемпературная подвижность двумерного электронного газа (ДЭГ). Подвижность при низких температурах в полупроводниковых селективно легированных гетероструктурах определяется процессами рассеяния носителей заряда на ионизированных центрах легирующей примеси. В классической GaAs/AlGaAs гетероструктуре высокая подвижность ДЭГ достигнута благодаря пространственному разделению ДЭГ и области легирования. Это подавляет процесс рассеяния и увеличивает подвижность. Но, в то же время, увеличение расстояния между областями транспорта заряда и легирования приводят к уменьшению концентрации электронов в яме.

В гетероструктуре AlAs/GaAs появляется еще один механизм, подавляющий процесс рассеяния. Он заключается в экранировании потенциала заряженных центров Х-электронами, локализованными в боковых сверхрешеточных барьерах. Это позволяет получать в таких структурах высокие значения концентрации и подвижности одновременно, что расширяет экспериментальные возможности для изучения электронных свойств полупроводниковых систем пониженной размерности.

Данная работа посвящена изучению транспортного времени релаксации и квантового времени жизни и их зависимости от концентрации ДЭГ в гетероструктуре AlAs/GaAs. Обнаружено экспоненциальное возрастание квантового времени жизни с увеличением концентрации электронов, и предложено объяснение этому явлению. Установлено, что в исследуемой гетероструктуре отношение транспортного времени релаксации к квантовому времени жизни зависит от концентрации немонотонно: вначале с ростом концентрации отношение увеличивается линейно, а затем падает.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. А. Быков

## НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ РОСТА ПЛЕНОК $Ge_{1-x}Sn_x$ НА КРЕМНИИ МЕТОДОМ МЛЭ

А. Р. Туктамышев

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Твердые растворы германия и олова интенсивно изучаются, как перспективные материалы для использования в оптоэлектронике. Исследования показали, что сплавы германия и олова ведут себя как прямозонные полупроводники. Рост германия и олова осложняется взаимной ограниченной растворимостью, тенденцией к поверхностной сегрегации олова из-за большего размера атомов олова по сравнению с германием. Более того, эпитаксиальный рост бездислокационных сплавов германия и олова на кремнии затруднен из-за разницы в постоянных решетки между кремнием и твердым раствором германия и олова. Тем не менее, были сделаны попытки решить эти проблемы, используя неравновесные методики роста, например, низкотемпературную молекулярно-лучевую эпитаксию, чтобы получить перенасыщенные твердые растворы германия и олова.

Дифракционные картины процессов роста германия и пленок  $Ge_{1-x}Sn_x$  на кремнии похожи. На первом этапе эпитаксиального роста наблюдаются дифракционные картины от плоской поверхности смачивающего слоя и картины начала трехмерного роста. С помощью метода дифракции быстрых электронов в процессе эпитаксиального роста была определена критическая толщина перехода от двумерного к трехмерному росту, которая зависит от температуры роста. Методами сканирующей туннельной микроскопии и атомно-силовой микроскопии исследована морфология поверхности, получены зависимости среднего размера и плотности островков при различных температурах роста.

Полученные результаты представляют большой интерес с точки зрения морфологии и структуры поверхности, а также дают перспективу в создании приборов оптоэлектроники на основе структур германия и олова на кремнии.

- 
1. V. Mashanov, V. Ulyanov, V. Timofeev, Formation of Ge-Sn nanodots on Si(100) surfaces by MBE, *Nanoscale Res. Lett.* 6:85 (2011)
  2. Y. Nakayama, Quantum regulation of Ge nanodot state by controlling barrier of the interface layer, *App. Phys. Lett.* 88, 253102 (2006)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. И. Никифоров

# ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА КРИСТАЛЛА $\text{Ag}_2\text{S}$

С. И. Филиппов

Кемеровский государственный университет

В работе рассматривается электронная структура стабильной при комнатной температуре модификации сульфида серебра (акантита). Данное соединение обладает моноклинной сингонией, пространственная группа  $P 2_1/n$ , элементарная ячейка содержит 4 единицы  $\text{Ag}_2\text{S}$  [1].

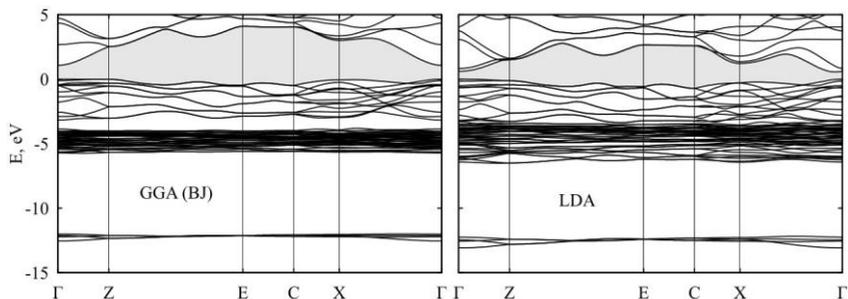


Рис. 1. Зонная структура  $\text{Ag}_2\text{S}$

Расчет электронной структуры кристаллов был выполнен в рамках теории DFT в базисе ПАО с использованием HGH-псевдопотенциалов в LDA и GGA-приближении. В качестве градиентного потенциала была выбрана версия потенциала Бекке-Джонсона (BJ, [2]), позволяющая устранить проблему ширины запрещенной зоны  $E_g$  в диэлектриках [2, 3].

Значение  $E_g$  при расчете с потенциалом BJ составило 1,07 эВ, что практически точно совпадает с экспериментальным значением 1,0 эВ. Величина  $E_g$  при LDA-расчете оказалась заниженной в 2 раза (0,56 эВ). Рис. 1 наглядно иллюстрирует еще одну особенность потенциала BJ — его локализирующий характер, особенно для  $d$ -зон переходных металлов.

1. Frueh, A. J., Jr. The crystallography of silver sulfide,  $\text{Ag}_2\text{S}$ . Z. Kristallogr., **110**, 136–144 (1958).
2. F. Tran, P. Blaha. Accurate Band Gaps of Semiconductors and Insulators with a Semilocal Exchange-Correlation Potential // Phys. Rev. Lett., **102**, 226401 (2009)
3. А. Б. Гордиенко, С. И. Филиппов. Электронная структура диэлектриков с потенциалом Бекке-Джонсона // Акт. пробл. физ. тверд. тела: сб. докл. Межд. науч. конф., 18–21 окт. 2011 г., Минск. Стр. 321–322

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Б. Гордиенко

# МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЕ ФЕРРИТ-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПЛЕНКА, ВЫРАЩЕННАЯ НА ПОДЛОЖКЕ

Т. О. Фирсова

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого

Магнитоэлектрический (МЭ) эффект заключается в возникновении поляризации под действием магнитного поля, и, наоборот, возникновении намагниченности под действием электрического поля. В магнитострикционно – пьезоэлектрических структурах МЭ эффект связан с механическим взаимодействием ферритовой и пьезоэлектрической систем. Магнитное поле, вследствие магнитострикции, вызывает в ферритовой компоненте деформации среды с частотой внешнего магнитного поля, которые, посредством механического взаимодействия передаются в пьезоэлектрическую фазу, в результате чего происходит изменение поляризации [1].

Путем совместного решения уравнений эласто- и электродинамики получено выражение для МЭ коэффициента по напряжению через параметры, характеризующие МЭ пленку и подложку. В случае, когда модуль Юнга подложки больше модуля Юнга МЭ пленки распространение упругих колебаний в подложке происходит в приповерхностном слое, толщина которого примерно равна трем толщинам пленки. При этом подложка «не зажимает» активный магнитострикционно-пьезоэлектрический слой и величина МЭ эффекта практически не зависит от толщины подложки и определяется физическими параметрами магнитострикционного и пьезоэлектрического слоев. Величина МЭ коэффициента по напряжению прямо пропорциональна произведению пьезоэлектрического и пьезомагнитного модулей и обратно пропорциональна модулю податливости и коэффициенту диэлектрической проницаемости. Частотная зависимость МЭ коэффициента по напряжению имеет резонансный характер, частота которого определяется в первую очередь физическими параметрами подложки и геометрическими размерами образца.

---

1. Bichurin M.I.; Filippov D.A.; Petrov V.M.; Laletsin V.M.; Paddubnaya N.N.; Srinivasan G. Resonance magnetoelectric effects in layered magnetostrictive-piezoelectric composites, Phys. Rev. B. 2003. v. 68. p. 132408 (1-4).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Д. А. Филиппов

# МОДЕЛЬ РЕКОМБИНАЦИИ ЧЕРЕЗ КОМПЛЕКС МЕЛКИЙ ДОНОР+ВАКАНСИЯ

М. М. Хашаев

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце», г. Ташкент

Установлено, что в полупроводниках  $A_3B_5$  n-типа, выращенных по методу Чохральского, создаются комплексы типа мелкий донор + вакансия [1]. Модель рекомбинации через такой комплекс показана на рис.1.

Поскольку донор мелкий, он не может быть самостоятельным каналом рекомбинации, и у него полностью должно отсутствовать взаимодействие с валентной зоной. Взаимодействием вакансии с зоной проводимости мы для простоты рассмотрения также пренебрежем. Остаются три составляющие: обмен уровня донора с зоной проводимости

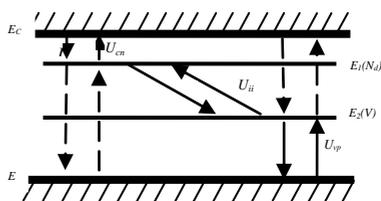


Рис. 1. Схема рекомбинации через рекомбинационный комплекс мелкий донор + вакансия.

$U_{cn1}$ , обмен уровня донора с уровнем вакансии ( $U_{ii}$ ), обмен уровня вакансии с валентной зоной ( $U_{vp}$ ), описываемые следующими уравнениями:

$$U_{cn1} = c_{n1} N_R (n - f_{R1}(n + n_{11})), \quad (1)$$

$$U_{vp} = c_{p2} N_R (f_{R2}(p + p_{12}) - p_{12}), \quad (2)$$

$$U_{ii} = c_{12} N_R (f_{R1}(1 - f_{R2}) - f_{R2}(1 - f_{R1})), \quad (3)$$

Решив уравнения, получим окончательное выражение для скорости рекомбинации неравновесных носителей:

$$U = N_R \frac{c_{n1} c_{p2} (n(p + p_{12}) + p_{12}(n + n_{11}))}{c_{n1}(n + n_{11}) + c_{p2}(p + p_{12}) + \frac{c_{n1} c_{p2}}{c_{12}} (n + n_{11})(p + p_{12})} \quad (4)$$

Из (4) видно, что если  $c_{12} \rightarrow 0$ , т.е. время внутрикомплексного обмена  $\tau_i = (c_{12})^{-1} \rightarrow \infty$ , то тогда последний член знаменателя может стать определяющим и наступает насыщение скорости рекомбинации  $U \approx c_{12} N_R$ , что, может служить началом процессов самоорганизации [2].

1. Фистуль В.И. Сильно легированные полупроводники. М., Наука, 1987, с. 416.
2. Лейдерман А.Ю. // Applied Solar Energy, 2008, №2, с. 17-20.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Ю. Лейдерман

# ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА В ВАКУУМЕ И НА ВОЗДУХЕ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ СИЛИКАТА ВИСМУТА

Е. С. Худякова, А. Н. Гребенчуков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Как показано в работе [1], температурный отжиг в воздушной атмосфере кристаллов  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  может заметно изменять их оптическое поглощение. Ранее сообщалось о влиянии температурного отжига в вакууме на оптические свойства как  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ , так и  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  [2]. В настоящем сообщении представлены результаты экспериментальных исследований спектральных зависимостей оптического поглощения в кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  при его отжиге в вакууме и после нескольких этапов отжига в воздушной атмосфере.

В ходе эксперимента исследуемый образец толщиной 0,75 мм подвергался отжигу в вакууме при температуре  $T_{VA} = 720$  °С в течение 30 минут и последующим этапам отжига в воздушной атмосфере при различных температурах в диапазоне  $T_{AA} = 160 - 390$  °С с продолжительностью 30 минут каждый. Спектры поглощения измерялись в диапазоне 400 – 1100 нм после каждого этапа отжига кристалла.

Получено, что отжиг в вакууме приводит к увеличению коэффициента поглощения в исследованном спектральном диапазоне, наиболее заметному в диапазоне 400 – 550 нм. Последующий отжиг в воздушной атмосфере приводит к уменьшению изменений в оптическом поглощении. Установлено также, что в отожженном в вакууме образце не наблюдается изменений оптического поглощения после засветки излучением с длиной волны  $\lambda=1064$  нм, обнаруженных для этого кристалла до такого отжига.

Наблюдаемые нами изменения в спектре оптического поглощения кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  могут быть связаны с ионами кислорода и висмута, вакансии которых возникают при отжиге в вакууме [2].

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (Гос. контракт № 02.740.11.0553). Авторы благодарят С.В. Смирнова за полезные консультации.

---

3. M.G. Kisteneva, A.S. Akrestina, S.M. Shandarov, et al. // Journal of Holography and Speckle. – 2009. – V.5, № 3 – P. 280 – 285.

4. Малиновский В.К., Гудаев О.А., Гусев В.А., Деменко С.И. Фотоиндуцированные явления в силленитах. Новосибирск: Наука, 1990.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент М. Г. Кистенева

## ЗАРЯДОВОЕ СОСТОЯНИЕ И СТАБИЛЬНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ (0001) ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРА $\text{Bi}_2\text{Se}_3$

С. А. Чуркин

Новосибирский государственный университет  
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Интерес к изучению поверхностей (0001) монокристаллов  $\text{V}_2\text{VI}_3$  связан с проявлением этими соединениями свойств топологических изоляторов (ТИ), открытых несколько лет назад. Данные материалы являются изоляторами в объёме, поверхность которых становится проводящей вследствие сильного спин-орбитального взаимодействия и возникновения спин-расщеплённых поверхностных состояний с непрерывным спектром, образующим Дираковский конус. Соединение  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  характеризуется выраженной слоистой структурой с объёмной шириной запрещенной зоны  $E_g = 0.3$  эВ.

Целью данной работы является изучение пассивирующих свойств поверхности (0001)  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  и установление взаимосвязи между структурным совершенством, химической стабильностью, зарядовым состоянием и ТИ свойствами монокристаллического селенида висмута.

Совершенный монокристалл  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  был выращен методом Бриджмена с использованием вертикально вращающегося теплового поля. Методами атомно-силовой микроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии продемонстрирована инертность поверхности скола (0001) монокристаллического  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  к окислению: после месяца хранения образцов на воздухе на поверхности не образуются собственные оксиды висмута и селена. Получены атомно-гладкие поверхности макроскопических размеров ( $\sim 2\text{-}3$  см<sup>2</sup>) со средней квадратичной шероховатостью менее 0.1 нм. Измерение контактной разности потенциалов методом Кельвина выявило наличие заряженных ступеней. Образование заряда на ступенях связано с наличием оборванных связей у атомов, встроенных в ступень. Наличие большого числа ступеней на поверхности приводит к окислению и образованию слоя собственных оксидов висмута и селена. Показано также, что причиной окисления является наличие точечных дефектов на поверхности. Обнаруженный заряд на поверхности является причиной приповерхностного изгиба зон в условиях обогащения и, как следствие, приводит к образованию 2D электронного газа вблизи поверхности.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент О. Е. Терещенко

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДИРАКОВСКИХ ФЕРМИОНОВ В КВАНТОВОЙ ЯМЕ CdHgTe/HgTe/CdHgTe.

К. В. Шаповалов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

За более чем сорокалетнюю историю физики двумерных электронных систем (ДЭС) найдено уже несколько десятков различных полупроводниковых структур, в которых эти системы реализуются. Но даже на фоне этого разнообразия реализация новой ДЭС на основе двойного гетероперехода CdHgTe/HgTe/CdHgTe оказалась далеко не рядовым событием. В первую очередь, подобный факт связан с уникальным энергетическим спектром ДЭС в КЯ HgTe, который в значительной степени определяется инвертированной зонной структурой HgTe [1] и принципиально зависит от толщины ямы [2].

Образец, исследуемый в этой работе, был выращен методом молекулярно-лучевой эпитаксии на основе подложки GaAs с ориентацией (013). Ширина КЯ составляла 6.6 нм, что, согласно расчетам [3], близко к критической толщине КЯ, при которой спектр системы должен соответствовать спектру безмассовых частиц – Дираковских фермионов.

Цель работы состоит в попытке экспериментально подтвердить или опровергнуть существование Дираковских фермионов (т.е. электронов и дырок с линейным спектром), а также изучить возникающие благодаря этому особенности в отклике образца. При этом исследовался как транспортный отклик (изучался классический и квантовый эффект Холла), так и емкостная спектроскопия, позволяющая получить информацию о плотности состояний системы и, в конечном итоге, ее спектре.

В результате анализа полученных данных сделан вывод, что в данной квантовой яме действительно реализуются система с линейным спектром. При этом в процессе анализа емкостных измерений была построена математическая модель, дающая зависимость емкости образца от затворного напряжения с учетом реальной неидеальности образца и возникающего от этого беспорядка. До настоящего момента в мире существовала лишь еще одна твердотельная двумерная система с линейным спектром – графен, поэтому дальнейшее изучение данной темы представляет несомненный интерес для физики двумерных систем.

- 
1. Н. Н. Берченко, М. В. Пашковский, УФН **119**, 223-255 (1976)
  2. M. König, S. Wiedmann, et. al., Science **318**, 766 (2007)
  3. V. Büttner, C. X. Liu, et al., Nature Phys. **7**, 418-422 (2011)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Д. А. Козлов

# **ВЛИЯНИЕ ГАЗОПЛАМЕННОГО ОПЛАВЛЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЯ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩЕГОСЯ СПЛАВА**

К. О. Шарифулин

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского

Одним из распространенных методов повышения служебных характеристик деталей металлургического оборудования является нанесение на их рабочие поверхности специальных покрытий, обеспечивающих необходимые свойства. С экономической точки зрения, изменение свойств поверхности является более выгодным, чем изменение свойств материала в целом. Из множества способов получения покрытий в промышленности хорошо зарекомендовали себя высокоэнергетические методы, среди которых, благодаря своей универсальности и эффективности, выделяются плазменные методы. Плазменно-дуговое напыление применяется для нанесения покрытий из порошков металлов, оксидов, карбидов, нитридов, боридов и других тугоплавких соединений, из композиционных порошков и механических смесей различных порошков, проволок. Нанесение покрытий из порошков специальных самофлюсующихся сплавов позволяет значительно улучшить трибологические характеристики рабочих поверхностей деталей машин, изготавливаемых из низколегированных сталей. Последующее дополнительное газопламенное оплавление покрытия, как правило, приводит к еще большему улучшению эксплуатационных характеристик изделий. Однако причины такого улучшения к настоящему времени до конца не изучены.

В настоящей работе исследуются структурно-фазовые превращения, происходящие в самофлюсующемся покрытии из сплава марки ПР-НХ17СР4 как непосредственно после нанесения плазменно-дуговым методом, так и в результате дополнительного газопламенного оплавления. Изучение морфологии поверхности производилось на растровом электронном микроскопе Philips SEM 515. Определение структуры и фазового состава осуществлялось с помощью дифрактометра ДРОН 3М. Измерение микротвердости – на твердомере ПМТ-3. Установлено, что в результате газопламенного оплавления увеличивается степень кристалличности покрытия. Зафиксировано наличие в покрытии высокопрочных фаз. Результаты измерения микротвердости позволили установить, что напыление с последующим оплавлением данного покрытия позволяет создать на поверхности стали слой в несколько раз превышающий прочностные характеристики основного металла.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Г. И. Геринг

# ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ СИГНАЛА ФАЗОВОЙ ДЕМОДУЛЯЦИИ В ГОЛОГРАФИЧЕСКОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ НА КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА

С. С. Шмаков, О. С. Сюбаева

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

В работе исследованы поляризационные зависимости амплитуд первой и нулевой гармоник выходного сигнала адаптивного голографического интерферометра, основанного на отражательных динамических голограммах в кристалле  $\text{Vt}_{12}\text{TiO}_{20}\text{:Cu,Fe}$  среза (100), от ориентации вектора поляризации входной сигнальной волны, при круговой поляризации опорной волны. Выходной сигнал исследуемого интерферометра формировался за счет взаимодействия на отражательной динамической голограмме стационарного опорного пучка с сигнальным пучком, отраженным от зеркала, колеблющегося на частоте 300 Гц с амплитудой 5 нм. Амплитуда первой гармоники сигнала фазовой демодуляции, выделяемого с использованием фотодиода на нагрузке, измерялась селективным вольтметром, а постоянная составляющая – цифровым вольтметром.

Эксперименты, результаты которых представлены точками на рис. 1 и 2, удовлетворительно согласуются с данными теоретического анализа (сплошные кривые), принимающего во внимание, наряду с электрооптическим эффектом, дополнительные вклады в фоторефрактивный отклик обратного флексоэлектрического и фотоупругого эффектов и абсорбционной составляющей голограммы.

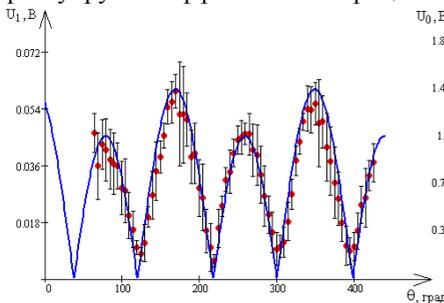


Рис. 1. Поляризационная зависимость для амплитуды выходного напряжения на первой гармонике

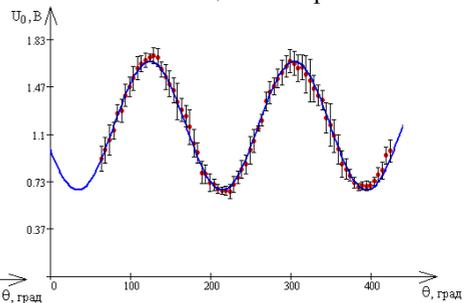


Рис. 2. Поляризационная зависимость для постоянной составляющей выходного сигнала

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. М. Шандаров

# МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СТАБИЛЬНОСТИ МАГНИТНЫХ СТРУКТУР В КВАЗИОДНОМЕРНЫХ МАГНЕТИКАХ

М. Г. Усатова

Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, г. Абакан

В последнее время в понимании физических процессов происходящих в одномерных системах наметился существенный прогресс, это отчасти обусловлено возможностью получения новых материалов с высокими функциональными свойствами. Наличие квазиодномерных систем из органических соединений с довольно сложной структурой и химически устойчивых металлооксидных соединений, позволило проводить более детальное изучение физических свойств различными экспериментальными методами. Процессы в малых кристаллах вызывают особый интерес, так как классические методы к ним неприменимы, и необходима разработка новых методов в исследовании квазиодномерных систем.

Методом Монте-Карло используя алгоритм Метрополиса, проводилось моделирование определения вероятности при определенных энергетических параметрах и температуры. Вероятность существования магнитной структуры определялась следующим образом, при данном наборе энергетических параметров проделывается определенное количество шагов Монте-Карло на узел (nmcs), на последнем шаге берется получившаяся конфигурация (и она в последствии станет начальной для нового набора параметров). Процедура повторяется многократно. Затем, изменяем, значение интересующего нас параметра и опять проделываем nmcs шагов. Моделируется процесс при изменении какого-либо параметра. Таким образом, при каждом наборе энергетических параметров получаем набор магнитных структур. По этому набору можно определить вероятность реализации любой структуры, как отношение количества данной структуры в наборе к полному числу структур (классическое определение вероятности). Усреднение проводится по многократному повторению одного и того же процесса. При моделировании Методом Монте-Карло вероятность ферромагнитной структуры для низких температур в значительном интервале остается равной единице, то есть переход ферромагнетик – антиферромагнетик сильно затягивается по значению напряженности внешнего магнитного поля. Увеличение температуры аналогично снижению потенциальных барьеров, поэтому при увеличении температуры затягивание переходов будет гораздо меньше.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Р. А. Козлитин

## ПЛОТНОУПАКОВАННЫЕ ПОЛИТИПЫ В РАМКАХ АКСИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИЗИНГА

М. М. Халяпкин

Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, г. Абакан

Интерес к изучению природы образования политипных структур нарастает. Это явление может определяться множеством физических и термодинамических факторов, однако нет общего механизма политипообразования [1, 2].

В конце 20 века развитие получила аксиальная модель Изинга в связи с возможностью объяснения на ее основе модулированных магнитных и политипных структур. Эта модель и ее модификации могут быть применены к слоистым плотноупакованным кристаллам [1].

В данной работе было проведено исследование влияние многочастичного взаимодействия и взаимодействия ближайших соседей на образование политипных структур и превращений в плотноупакованных кристаллах в рамках аксиальной модели Изинга. Рассматривались ансамбли блоков из 12-16 плотноупакованных плоскостей.

Учет многочастичного взаимодействия стабилизирует политипы  $15R_1$  и  $7T_1$  с двойниковыми модификациями. Политип  $15R_1$  может быть в смеси со структурами  $2H$ ,  $4H$ ,  $5H$ ,  $6H_1$ ,  $9R$ ,  $18R_3$ ,  $21R_2$ ,  $36R_{x7}$  и  $9T_{1,3}$ , а также с их двойниковыми модификациями. Политипа  $7T_1$ , который находится в смеси со структурами  $2H$ ,  $9T_3$ ,  $18R_3$ . Появляются новые стабильные структуры:  $(4H+6H_1)$ ,  $6H_2$ ,  $(4H+6H_2)$ ,  $30R_{3,4,7,13}$ ,  $33R_{x2}$ ,  $36R_{x1}$ ,  $(9T_6+2H)$ ,  $9T_4$ ,  $10T_{x4}$ ,  $11T_{x2,x4}$ ,  $12T_{x9}$ . Данные политипы делают возможным следующие политипные переходы:  $3C-9R-36R_{x1}-33R_{x2}-9T_4'$ ,  $30R_4'-30R_4-18R_3-3C$ ,  $11T_{x2}-18R_3-3C$ ,  $3C-9R-(6H_2+9R)-(9R'+15R_1)-(9R'+5H')$ ,  $3C'-12T_{x9}'-6H_121R_2-3C$ , а также двойникование через многослойные модификации  $3C-15R_1-33R_{x1}-33R_{x2}-(18R_1'-24R_3'-27R_4')-24R_3'(27R_4')-3C'$ ,  $3C-15R_1-(9T_6+2H)-15R_1'-(15R_1'+5H')-3C'$ .

---

1. Удодов В.Н. Моделирование фазовых превращений в низкоразмерных дефектных наноструктурах / В.Н. Удодов, А.И. Потекаев, А.А. Попов и др.; под общ. ред. В.Н. Удодова. — Абакан: Издательство Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, 2008. — 135 с.

2. Олейник, Г.С. Политипизм в неметаллических кристаллах / Г.С. Олейник, О.А. Шевченко, Н.В. Даниленко. — Препр. ИМФ 94. 12. — Киев, 1994. — 67 с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Н. Удодов

## ВЛИЯНИЕ БЫСТРОДИФФУНДИРУЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ НА ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Т. У. Тошбоев, З. Норов

Самаркандский государственный университет им. А. Навои

Предлагаемый нами способ позволяет повысить эффективность нейтрализации быстро диффундирующих примесей (БДП) в кремнии путем селективного связывания в электронейтральные химически связанные комплексы по всему объему кристалла. Это достигается тем, что при обработке кремния, вводится образец кремния примесь, образующая при последующем отжиге с БДП электронейтральные комплексы, в качестве примеси используют серу, которую вводят методом диффузии до определенной растворимости. А также, влияние БДП на параметры солнечных элементов исследовалось на стандартных пластинок монокристаллического кремния толщиной 380 мкм с уровнями легирования бором или фосфором  $10^{15} \div 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Уровень легирования фронтального слоя не превышал концентраций  $10^{19} \text{ см}^{-3}$ , что предотвращало образование мертвого слоя на поверхности. Фотоэлемент изготавливался в виде плоскопараллельной пластины размером 10x10 мм с двумя металлическими контактами, сеточным лицевым и сплошным тыльным. В качестве глубокоуровневых примесей выбраны сера и цинк. Дополнительное легирование проводилось в кварцевых ампулах в атмосфере паров диффузианта. Для учета влияния термоотжига при дополнительном легировании глубокоуровневыми примесями на параметры солнечных элементов нами производился отжиг контрольных образцов, не содержащих глубокоуровневые атомы, при температуре и в течение времени, соответствующих условиям диффузии. Во всех случаях при дополнительном легировании и контрольном термоотжиге использовались одинаковые по параметрам и конструкции солнечные элементы. Изменение напряжения холостого хода и тока короткого замыкания относительно контрольных образцов в зависимости от концентрации атомов серы и цинка, определяемой методом эффекта Холла, с учетом зарядового состояния атомов в кристаллической решетке кремния имели следующий характер. В целом напряжение холостого хода малочувствительно к дополнительному легированию атомам серы, так, оно практически не меняется при увеличении концентрации данных атомов с  $10^{14}$  до  $10^{16} \text{ см}^{-3}$ . В случае же введения атомов цинка напряжение холостого хода уменьшается в 2-2,5 раза.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. У. Тошбоев

# РАДИОФИЗИКА

## ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИК ДЛЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С MSK И GMSK МОДУЛЯЦИЕЙ

Д. В. Крутин, А. А. Корнилов

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие технических средств сухопутной подвижной радиосвязи, что приводит к повышению требований к качеству устройств и систем связи, особенно имеющих оборонное назначение. Поэтому улучшение технико-тактических характеристик таких систем является актуальной задачей.

В основе построения приемных устройств выпускаемых в наши дни систем связи лежат, как правило, некогерентные методы линейной или корреляционной демодуляции FSK-сигнала, не обладающие оптимальными характеристиками помехоустойчивости, что ограничивает технико-тактические характеристики аппаратуры. Цель работы заключалась в исследовании возможности построения приемо-передающего устройства для систем узкополосной радиосвязи с MSK и GMSK модуляцией.

Передачик устройства был реализован на основе архитектуры прямого синтеза радиочастот с использованием переменного дробного коэффициента деления в петле фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) синтезатора. Отсутствие в структуре смесителей или цифро-аналоговых преобразователей, делает ее очень привлекательной для использования в маломощных передатчиках с высокой степенью интеграции.

В приемнике, реализованном по супергетеродинной схеме с 2-мя преобразованиями частоты, был использован цифровой квазигогерентный MSK-подобный демодулятор GMSK-сигнала. В нем решаются задачи начальной фазовой и тактовой синхронизации. Для отслеживания медленных уходов частоты при приеме информационных бит была реализована 2-х ступенчатая следящая схема фазовой автоподстройки частоты 1-го порядка, позволяющая свести практически к нулю остаточный уход по частоте. В ходе моделирования с использованием САПР ADS было установлено, что для GMSK-сигнала ( $BT=0,4$ ) вероятность битовой ошибки, равная 0.001, обеспечивается при отношении энергии бита к спектральной плотности шума 7,3 дБ, что почти на 4 дБ превосходит характеристики некогерентного корреляционного демодулятора FSK сигнала и более чем на 8 дБ – линейного, используемых в портативной УКВ связной аппаратуре. Результаты моделирования были подтверждены в ходе экспериментального измерения чувствительности макета радиоприемного тракта.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент А. С. Меркутов

# ИСТОЧНИКИ ШИРОКИХ ПУЧКОВ БЫСТРЫХ МОЛЕКУЛ С СЕКЦИОНИРОВАННЫМИ ХОЛОДНЫМИ КАТОДАМИ И ЭМИССИОННЫМИ СЕТКАМИ

В. П. Болбуков

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Представлены результаты исследований характеристик источников пучков прямоугольного и круглого сечения площадью до  $0,8 \text{ м}^2$  быстрых нейтральных атомов и молекул, получаемых в результате перезарядки при столкновениях с молекулами газа ионов, ускоренных разностью потенциалов между плазменным эмиттером внутри источника и вторичной плазмой в рабочей вакуумной камере. В качестве эмиттера используется плазма тлеющего разряда, в котором электроны удерживаются в электростатической ловушке, образованной холодным полым катодом и отрицательной по отношению к катоду и камере эмиссионной сеткой. Для предотвращения пробоев между эмиттером и катодом, а также между эмиттером и сеткой катод и сетка выполнены в виде изолированных друг от друга секций, соединенных с источниками питания через резисторы.

При ширине эмиссионной сетки источника быстрых нейтральных молекул, которая превышает длину перезарядки ускоренных ионов, в цепи сетки протекает почти весь ток медленных ионов, образованных в результате перезарядки, а эквивалентный ток пучка на порядок превышает ток в цепи рабочей вакуумной камеры. В этих условиях можно полностью исключить переходы в дуговой режим сильноточного тлеющего разряда с электростатическим удержанием электронов, который используется для генерации однородного плазменного эмиттера источника, и использовать в качестве источников питания выпрямители напряжения промышленной частоты повышающих трансформаторов с емкостными фильтрами и регулировкой напряжения на их первичных обмотках. Для этого нужно изготовить эмиссионную сетку и холодный полый катод в виде наборов изолированных друг от друга секций и соединить их с источниками электропитания через индивидуальные резисторы. При этом достаточно ограничить ток в цепи каждой секции величиной  $U/R < I_0$ , где  $R$  – сопротивление резистора в ее цепи,  $U$  – напряжение источника питания, а  $I_0$  – минимальный ток устойчивого горения дуги. При энергии пучка до  $10 \text{ кэВ}$  и эквивалентном токе пучка до нескольких ампер мощность, рассеиваемая в сеточных и катодных резисторах, в десять с лишним раз меньше мощности, транспортируемой пучком в рабочую вакуумную камеру. Для повышения тока пучка и снижения рассеиваемой в резисторах мощности необходимо увеличивать число секций сетки и катода.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Метель

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЭМНІТАСНІS-3400N В НИЗКОВОЛЬТНОМ РЕЖИМЕ

В. О. Бородин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

При исследованиях микроскопических и нанометровых объектов растровый электронный микроскоп (РЭМ) зачастую является альтернативным инструментом. Безусловно, задача получения высокого разрешения и четкости изображения на РЭМ является весьма актуальной. Целью работы являлся поиск режимов работы РЭМ Hitachi модели S-3400N, при которых достигается наилучшее разрешение при исследовании нанометровых объектов с малым атомным номером.

Область взаимодействия электронного зонда с объектом определяется не только размером зонда, но и глубиной проникновения электронов в объект, которая увеличивается с энергией электронов зонда. При начальных энергиях зонда 10-30 кэВ его размер составляет 2-5 нм, а размер области взаимодействия на 2-4 порядка больше (1-10 мкм, в зависимости от атомного номера исследуемого вещества). Если же использовать энергии зонда ~100 эВ, то размер области взаимодействия становится сопоставимым с размером зонда, соответствующим энергиям зонда 10-30 кэВ. Однако при низких энергиях размер зонда сильно увеличивается из-за влияния хроматических и сферических аберраций. Возможным выходом является принцип деакселерации – электроны зонда, предварительно ускоренные до 10-30 кэВ, тормозятся до энергий ~100 эВ непосредственно перед объектом с помощью электрического поля.

В работе рассматриваются основные характеристики электронного микроскопа S-3400N фирмы Hitachi в режиме низкого напряжения и изучена возможность применения режима деакселерации электронов. В конструкцию микроскопа были внесены определенные изменения, чтобы обеспечить возможность торможения электронов. К настоящему моменту создан низковольтный РЭМ JSM-7500F [3] конкурирующей фирмы JEOL, в устройство которого включена возможность деакселерации электронов.

1. V. K. Zworykin. *Electron Optics and the Electron Microscope*. New York: JW & Sons, 1957.
2. Дж. Гоулдстейн. *Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ (часть I)*. Москва: «Мир», 1984.
3. С. Иванов. Низковольтная растровая электронная микроскопия для исследования наноматериалов. Журнал «Наноиндустрия», 2009, №4.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. Д. Николенко

## СУТОЧНЫЕ И СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ СДВ РАДИОСТАНЦИЙ, ПРИНИМАЕМЫХ В ЯКУТСКЕ

А. А. Корсаков, У. В. Ноговицына, П. Е. Васильев  
Институт космофизических исследований и аэронауки  
им. Ю. Г. Шафера СО РАН

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова,  
г. Якутск

В г. Якутске с начала 2009 г. по настоящее время в непрерывном режиме на электрическую штыревую антенну ведётся приём сигналов станций радиотехнической системы дальней навигации (РСДН-20), расположенных относительно Якутска вдоль параллели (вблизи Новосибирска) и меридиана (около Хабаровска). Описание регистратора и алгоритма выделения амплитуды и фазы приведено в [1]. Проанализированы усреднённые помесечно суточные хода амплитуд и фаз сигналов (11,9 и 14,9 кГц) за 2009-20011 гг. Данные вариации достаточно устойчивы и соответствуют затенённости трасс распространения сигналов.

Суточная вариация амплитуды сигнала новосибирской РНС (14,88 кГц) для декабря составляет 6 раз, для июня – 1,8 раза, для марта – 4 раза и для сентября – 1,8 раза. Суточная вариация фазы указанного сигнала: декабрь – 130°, июнь – 50°, март – 140° и сентябрь – 190°. Аналогичен суточный ход для сигнала РНС 11,9 кГц. Вариация фазы за сутки: декабрь – 70°, июнь – 60°, март – 70°, сентябрь – 100°. Суточная вариация амплитуды сигнала хабаровской РНС (14,88 кГц): декабрь – 6 раз, июнь – 1,7 раз, март – 5,5 раз, сентябрь – 2,8 раз. Суточная вариация фазы: декабрь – 52°, июнь – 50°, март – 65°, сентябрь – 65°. Аналогично для вариаций сигнала на частоте 11,9 кГц. Суточная вариация фазы: декабрь – 20°, июнь – 23°, март – 20°, сентябрь – 40°.

Показано, что сезонные вариации в дневных условиях наиболее выражены, что связано с сезонным изменением концентрации нижней ионосферы. Так значение амплитуды «Новосибирск» от декабря к июню возросло в 8 раз (дневные условия), и в 2 раза (ночные условия на трассе). Для амплитуды «Хабаровск» увеличение составило в 6 раз и в 2 раза соответственно.

Работа поддержана РФФИ 12-05-98528-р\_восток\_a и РНП 2.1.1/2555.

---

1. А. А. Корсаков, Эффекты полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. по наблюдениям сигналов радиостанций ОНЧ радиошумового фона. МНСК XLVII «Студент и научно-технический прогресс»: Физика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2009. 274 с. С. 98.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. И. Козлов

# РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

А. Мирманов

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана

Совершенствование телекоммуникационных систем для геофизических исследований является актуальной проблемой. В настоящее время модернизация и техническое усовершенствование существующей аппаратуры не может решить главных проблем снижения ресурсоёмкости геофизических работ, поскольку ограничением является сам способ передачи данных. Отсюда вытекает актуальность разработки принципиально новых подходов к методологии проектирования и эксплуатации телекоммуникационных систем в геофизике.

Отказ от устаревших способов передачи данных и аппаратуры связан с решением крупной системной проблемы. Перечислим проблемные ситуации и разрешаемые противоречия.

1. Частотный диапазон. Радиофизические исследования [1] показывают противоречие между мощностью передатчика и частотой: частота должна быть выше, чтобы получить максимальную мощность передатчика и расположить антенну в трубе и в то же время меньше, чтобы уменьшить затухание в заполняющей среде.

2. Вид модуляции и форма сигнала. Учитывая высокую вероятность появления неоднородностей в канале связи, влияющих на форму и амплитуду сигнала, проводятся исследования по формированию информационного сигнала.

3. Распространение радиоволн в неоднородной среде с большим затуханием сигнала. Скважина представляет собой запердельный волновод. Наличие воды и бурового раствора приводят к резкому возрастанию затухания. Установлено, что затухание зависит от параметров сигнала, диэлектрической проницаемости среды и может изменяться в широких пределах. Сильное затухание было главным препятствием для разработки телекоммуникационных систем в прошлом, поскольку не существовало миниатюрных мощных передатчиков. В настоящее время разработаны мощные модули на диодах Ганна в диапазоне 1-10 ГГц [1].

Разработанные мощные приёмопередающие модули на диодах Ганна позволяют вновь вернуться к вопросу о проектировании системы передачи данных на новой элементной и технологической базе.

---

1. Б.И. Авдоченко. Моделирование повреждений трубопроводов при зондировании субнаносекундными импульсами / Б.И. Авдоченко // Доклады ТУСУРа, № 2 (22), часть 2, декабрь 2010. – С. 142? 146.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. О. В. Стукач

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ В ТРИОДЕ С ВИРТУАЛЬНЫМ КАТОДОМ

А. А. Тимофеев

Томский политехнический университет

Генерация электромагнитного излучения в системах с виртуальным катодом (ВК). Привлекает к себе внимание в связи с отсутствием в таких системах ограничения накладываемого на ток из-за пространственного заряда, существующего в известных вакуумных генераторах. Это объясняется способностью генерировать электромагнитные колебания только при токах электронного пучка выше предельного вакуумного, когда выполняется условие формирования ВК. Благодаря этой черте можно создавать новые приборы для генерации мощных электромагнитных импульсов в сантиметровом и миллиметровом диапазоне частот. Эти приборы имеют такие достоинства, как перестройка по частоте, формирование мощных электромагнитных импульсов большой длительности, конструктивная простота и компактность (возможность отсутствия фокусирующих магнитных полей и соответствующих источников питания).

Рассмотрим один из классов СВЧ приборов с ВК, в которых отсутствуют пролетные частицы. В них электроны совершают только осцилляторное движение между реальным и виртуальным катодами. Эти приборы называются триодами с ВК.

В работе приведены результаты аналитического исследования мощности излучения сгустка электронов, совершающих колебания; проведено исследование зависимости характеристик излучения от таких параметров системы, как диодный зазор, напряжение, радиус пучка, размеров резонансной камеры. Найдены условия максимума мощности излучения. Благодаря проведенному исследованию показана возможность получения не только значения мощности от параметров системы, но и подбор параметров системы для требуемых характеристик излучения.

---

1. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Жерлицын А.Г. Генерация электромагнитных колебаний в системах с виртуальным катодом // В сб.: Плазменная электроника / Под ред. В.И. Курилко. – Киев: Наукова думка, 1989.

2. Григорьев В.П., Коваль Т.В. Теория генерации электромагнитных колебаний в системах с виртуальным катодом // Известия вузов. Физика. – 1998. – № 4.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. П. Григорьев

## **КОНЦЕПЦИЯ КОМПАКТНОГО РАДИОЛОКАТОРА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Ю. А. Титченко, В. Ю. Караев, М. Б. Каневский,  
Е. М. Мешков, М. А. Панфилова  
Институт прикладной физики РАН

Целями работы является анализ физических оснований и разработка радиофизических методов мониторинга поверхности морских акваторий с летательных аппаратов. Актуальность задачи развития новой измерительной аппаратуры и методов обработки обусловлена тем, что информации только о скорости ветра и его направлении, измеряемых существующими радиолокационными системами, уже недостаточно для совершенствования численных моделей волнения и для решения стоящих перед метеорологией задач. Расширение числа измеряемых параметров возможно только за счет разработки и применения новой измерительной аппаратуры.

Новизна ожидаемого результата связана с применением для дистанционного зондирования нового импульсного радиолокатора с ножевой диаграммой направленности. Благодаря этому становится возможным при измерении с самолета, по форме отраженного импульса, измерять не только высоту значительного волнения, но и дисперсию наклонов и, соответственно, оценивать среднюю длину волны.

Предлагаемая концепция доплеровского радиолокатора может быть выполнена в варианте компактного измерительного прибора, который может быть установлен на все виды самолетов для сбора информации о высоте и дисперсии наклонов волнения. При наличии на борту самолета доступа в интернет, будет возможна оперативная передача актуальной информации о волнении в том районе, где пролетают самолеты, для метеорологических служб. Это позволит существенно расширить объем поступающей от судов (Резолюция MSC.99(73) СОЛАСС) информации о волнении, повысить качество прогнозов волновой обстановки и увеличить безопасность судоходства за счет своевременного поступления достоверной информации о волнении. Использование прибора на гидросамолете позволит экипажу принимать решение о посадке, основываясь на достоверной информации о состоянии волнения в месте приводнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 10-05-00181-а и 11-05-97014-р-п-а) и программы ОФН РАН «Радиофизика».

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. Ю. Караев

## **ПРОЯВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВАРИАЦИЙ АТМОСФЕРЫ НА СПУТНИКОВЫХ РАДИОТРАССАХ**

Е. И. Шорников

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Исследование пространственно-временной когерентности сигналов является актуальной задачей, поскольку эти данные могут повышать точность определения координат пользователей дифференциальной подсистемы ГНСС за счет более точного определения атмосферных задержек навигационных радиосигналов.

Навигационные спутниковые системы GPS/ГЛОНАСС и широкая сеть приемников их сигналов на Земле позволяют получать данные о пространственной и временной зависимости поля электронной концентрации в ионосфере и полей интегрального содержания водяного пара. Информация с сети приемных станций, принимающих сигналы GPS/ГЛОНАСС, предоставляется в специальном формате и доступна в свободном доступе в сети Интернет. Плотность существующей сети станций достаточно велика и позволяет осуществлять глобальный мониторинг ионосферы Земли. Системы GPS/ГЛОНАСС также дают возможность получать дополнительную информацию о состоянии атмосферы, по данным спутникового приема их навигационных сигналов.

На кафедре радиоастрономии Казанского университета в течении 2007-2011 гг. проводится мониторинг тропосферы с помощью сети наземных станций спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS.

Результаты показали, что данные ГНСС могут использоваться для исследования вертикальной и горизонтальной структуры атмосферы и ее динамики.

Целью работы является исследование фазовых и шумовых характеристик радиосигнала, прошедшего через неоднородную атмосферу с использованием многомерного цифрового анализа.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. О. Г. Хуторова

## **БЛОК УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЯТОРОМ (БУМ) ДЛЯ УСКОРИТЕЛЕЙ СЕРИИ ИЛУ**

А. Н. Абрамцев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время промышленные ускорители активно используются во многих отраслях промышленности. Электронные пучки ускорителей используются в различных термохимических процессах, в системах очистки воды и воздуха, а также для медицинской стерилизации и при производстве полимерных материалов.

Лаборатория 14 Института Ядерной Физики занимается разработкой и производством промышленных ускорителей серии ИЛУ (Импульсные Линейные Ускорители). Энергия электронов в пучке для таких ускорителей находится в пределах от 0,5 до 10 Мэв, мощность пучка – от 20 до 100 кВт в зависимости от модели ускорителя.

Электроны в ИЛУ ускоряются высокочастотным электромагнитным полем в ториодальном резонаторе. Электромагнитное поле в резонаторе возбуждается высокочастотным генератором, основной частью которого является лампа (триод) ГИ-50А. Анодное питание лампы осуществляется при помощи импульсного источника питания – Импульсного Модулятора. Импульсный Модулятор управляется электронным устройством – Блоком Управления Модулятором (БУМ).

В функции БУМ входит генерация четырех импульсов управления модулятором, правильная последовательность которых и длительность между ними обеспечивают надежную работу системы импульсного питания. Так же в БУМ реализована система связи с управляющим компьютером и система защиты, регулирующая работу блока в соответствии с сигналами, приходящими от Импульсного Модулятора.

В настоящее время существуют несколько вариантов БУМ, разработанных в 14 лаборатории ИЯФ. При этом лабораторией производится модернизация этих блоков. Данная работа связана с доработкой одного из вариантов БУМ, главным образом с доработкой программного обеспечения.

Научный руководитель – В. В. Безуглов

## ПРЕЦИЗИОННЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ ДАТЧИК ТОКА 1КА

Ю. С. Актёршев  
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Совершенствование электрофизических установок сопровождается постоянным ужесточением требований к точности и стабильности систем питания различных электромагнитных нагрузок. Важным элементом таких систем являются датчики тока, точностные характеристики которых во многом определяют параметры системы в целом.

Токовые шунты, используемые для измерений, обладают большой рассеиваемой мощностью, требуют принудительного охлаждения, величина их сопротивления зависит от температуры. Кроме того они не обеспечивают гальванического разделения входных и выходных цепей.

Трансформаторы тока, работающие на основной гармонике частоты возбуждения, имеют ограниченную точность и большой уровень помех на выходе.

Наилучшими метрологическими характеристиками обладают бесконтактные измерители тока на основе магнитомодуляционных датчиков чётной гармоники. Их высокая стабильность позволяет использовать их как в измерителях, так и в системах обратной связи.

В данной работе описано устройство, позволяющее измерять ток любой полярности произвольной формы в полосе частот  $0 \div 1 \text{кГц}$  с погрешностью не более 0,001%. Принцип действия измерителя основан на измерении магнитного поля вокруг проводника с током.

Научный руководитель – А. Г. Чупыра

## УЧЕБНО-ДЕЙСТВУЮЩИЙ СТЕНД ПОДОГРЕВАТЕЛЯ БМП-2

А. А. Богомолов

Филиал военного учебно-научного центра сухопутных войск  
Общевойсковая академия Вооруженных сил Российской Федерации,  
г. Новосибирск

С целью улучшения усвоения учебного материала и обеспечения наглядности в ходе изучения устройства и принципа действия подогревателя разработан специальный стенд, включающий в себя основные узлы и детали подогревателя, расположенные на специальном каркасе. Такое расположение узлов и деталей демонстрирует все составные части и детали подогревателя, наглядно показывает их взаимодействие при работе, а также дает возможность производить запуск подогревателя в лабораторных условиях.

Подогреватель предназначен для обеспечения быстрого и надежного разогрева двигателя при низких температурах окружающего воздуха и поддержания его в готовности к запуску в зимних условиях. Подогреватели делятся на три основные группы: электрические, жидкостные и воздушные.

Система жидкостного подогрева обеспечивает предпусковой подогрев и ОЖ, и масла. Подогреватель форсуночный, с жаротрубным котлом и с электрическим приводом; он установлен в силовом отделении и состоит:

- котла с камерой сгорания;
- форсунки;
- свечи накаливания;
- насосного узла.

Стенд подогревателя БМП-2 представляет собой сложную конструкцию. Все механизмы, узлы и детали реальные, размещаются на специальном каркасе. Источником питания в лабораторных условиях являются – аккумуляторные батареи 6СТЭН-140М или 6СТ-140Р.

Данный стенд целесообразно использовать на групповых и практических занятиях, а также при самостоятельной подготовке курсантов и выполнении практических вопросов во время зачетов и экзаменов.

Применение стенда рекомендуется при изучении тем по дисциплине «Бронетанковое вооружение», «Теория и конструкция МГКМ».

Научный руководитель – В. П. Плешаков

## **ИЗМЕРИТЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУЧКА**

Н. Д. Бухал

Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Распределение плотности пучка вдоль выпускного окна является важной технологической характеристикой ускорителя. Она может контролироваться датчиками различного типа, включая датчики оседающего тока и полупроводниковые датчики.

Задача работы состоит в создании электроники для снятия и обработки сигнала любой полярности, поступающего с датчиков. Количество каналов — до 16, разрядность АЦП AD7366 — 12 бит. Порядок обработки сигнала: интегрируется значение тока, результат запоминается на устройстве хранения, которые затем последовательно опрашивает АЦП. Значения с АЦП записываются в память микроконтроллера Atmega16, откуда они доступны для чтения и пред обработки. Оператор может получить любой результат измерения, сохраненный в памяти микроконтроллера. Так же возможны реализации последовательной отправки результатов измерений оператору. Управление и передача данных производится через интерфейс RS485. Электроника располагается в помещении с большим радиационным фоном вблизи датчиков.

Научный руководитель – Б. Л. Факторович

## КОНТРОЛЛЕР ПРЕЦИЗИОННОГО ИСТОЧНИКА ТОКА КИЛОАМПЕРНОГО ДИАПАЗОНА

Р. В. Вахрушев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН разрабатывается источник стабилизированного тока с выходным током до 1 кА, с выходной мощностью до 25кВт. Данный источник планируется использовать для питания магнитных систем ускорительных комплексов. Структура источника тока: сетевой выпрямитель, ШИМ – регулируемый инвертор, силовой трансформатор, синхронный выпрямитель и выходной фильтр. Инвертор сконструирован по мостовой топологии на IGBT-транзисторах.

В ускорительных комплексах основным параметром системы питания магнитов является долговременная стабильность тока на уровне  $10^{-5}$ . Кроме высокоточных и высокостабильных систем питания, в некоторых применениях требуются быстроперестраиваемые, например, для магнитных систем быстроциклических бустерных ускорителей (скорость перестройки тока может достигать 2 – 3 кА/с). В таких системах, требования на стабильность выходного тока не так высоки и лежат в пределах  $10^{-3}$  –  $10^{-4}$ .

Данная работа посвящена разработке модуля управления источника стабилизированного тока. Модуль содержит усилитель сигнала ошибки с регулируемым коэффициентом передачи. Для получения требуемой точности тока, в модуле используются 20-разрядный ЦАП и 24-разрядный сигма-дельта АЦП. Для обеспечения высоких скоростей перестройки уровня тока и измерения выходных сигналов, в модуле так же использованы 16-разрядные АЦП и ЦАП (скорость преобразования вплоть до 1 Msps).

Внутреннее управление базируется на микроконтроллере фирмы Silicon Laboratories C8051F060. Модуль поддерживает CANbus интерфейс.

Выходной сигнал усилителя ошибки используется как опорный сигнал для системы регулирования источника питания.

К настоящему моменту разработана схема модуля, проведена разводка печатной платы. Написано программное обеспечение для микроконтроллера, проводится сборка и настройка модуля.

Научные руководители – К. М. Горчаков, канд. техн. наук В. В. Колмогоров

# **СУБНАНОСЕКУНДНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ ИНЖЕКЦИИ В МИКРОТРОН-РЕКУПЕРАТОР. СХЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ АМПЛИТУДЫ ТОКА ПУЧКА**

Д. Л. Военнов

Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Улучшение существующего технического оборудования, а также разработка принципиально новых установок является одной из приоритетных задач радиофизики. В данном случае, данная работа является составной частью модернизации, призванной улучшить технические характеристики лазера на свободных электронах. Поставлены задачи по увеличению среднего тока микротрона-рекуператора до 150 мА и длительности импульса электронного тока до 0.5 нс.

При реализации этого проекта, была поставлена задача по преодолению колебаний амплитуды тока пучка. Для решения этой проблемы необходима схема, стабилизирующая амплитуду тока.

Реализация схемы стабилизации требует знания работы схемы, удовлетворяющей вышеперечисленным условиям, и знания её недостатков и особенностей.

В работе рассматривается схема стабилизации тока пучка и её свойства, а конкретно: представлена схема стабилизации, приведены основные принципы работы схемы и рассмотрена её работа.

Необходимо подчеркнуть, что на момент публикации тезисов этот проект ещё не полностью изучен и требует дальнейших исследований.

В настоящее время построен стенд, на котором представлен исправно работающий источник тока, включающий в себя схему стабилизации тока пучка.

Научный руководитель – Е. И. Колобанов

## **УНИВЕРСАЛЬНОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ ФОТОПРИЕМНИКОВ НА БАЗЕ ПЗС**

А. А. Голицын, Н. А. Сейфи

Новосибирский государственный технический университет  
Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники

Многие разработчики устройств получения изображения на базе ПЗС-матриц сталкиваются с тем, что при подключении ПЗС-матрицы в общей электрической схеме прибора они вынуждены подбирать необходимые элементы обвязки матрицы – драйвера, тактирующие элементы, различные преобразователи. В документации производителя на ПЗС-матрицу обычно изображена типовая схема включения, но указанные в ней элементы часто оказываются снятыми с производства или недоступными на российском рынке. При использовании указанных элементов в случае замены выбранной ПЗС-матрицы на аналогичную (например, при модернизации устройства) возникает необходимость полностью изменять схему включения, в то время как использование универсальных элементов позволило бы изменять в схеме только часть подключений, касающихся непосредственно ПЗС-матрицы, что значительно упрощает модернизацию видеоприемника.

Предложена универсальная схема включения ПЗС-фотоприемников в устройства получения изображения на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС).

В схеме используются универсальные преобразователи уровней, необходимые для связи ПЛИС с фотоприемником. Форма управляющих фотоприемником импульсов задается в ПЛИС программно, и может быть в любой момент времени изменена в соответствии с требованиями документации на конкретную ПЗС-матрицу. При этом изменение электрической схемы устройства не требуется, кроме замены номиналов резисторов обвязки источников питания, задающих напряжение питания ПЗС-матрицы.

Разработанная схема включения ПЗС-фотоприемников была опробована с несколькими ПЗС-матрицами производства Sony: ICX279AL, ICX429AL, ICX659ALA и др. В каждом случае схема показала свою работоспособность.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. К. Дмитриев

# УПРАВЛЯЕМЫЙ СТАБИЛИЗАТОР ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЛОКАЛЬНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. Ю. Грабовский, А. С. Мустафаев

Санкт-Петербургский государственный горный университет

Пути создания управляемых газоразрядных приборов изучаются уже более 40 лет [1]. В данной работе используется нелокальная природа функции распределения электронов по скоростям (ФРЭС) коротких (по отношению к длине энергетической релаксации) пучковых разрядов для разработки газоразрядных приборов с управляемыми свойствами плазмы.

Для демонстрации возможности управления ФРЭС нами проведён цикл исследований электрокинетических характеристик плазменных триодов с сужением разрядного канала, анод которого выполнен в виде диафрагмы с центральным отверстием и установлен между катодом и управляющим электродом (УЭ).

Экспериментально установлено существование двух режимов горения трехэлектродной дуги – диффузионного и контрагированного с нелинейными вольт – амперными характеристиками, удовлетворяющими противоречивым требованиям стабилизации тока (рис.1, область II) и напряжения (область I).

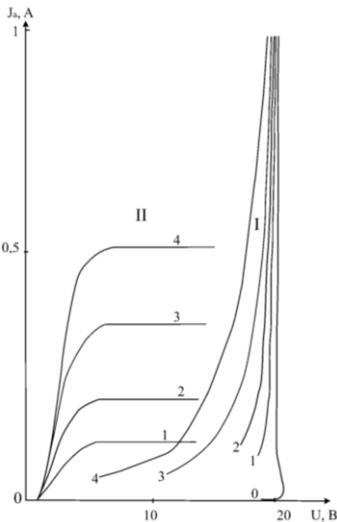


Рис. 1

ФРЭС низковольтной дуги состоит из двух независимых групп электронов – быстрых, эмитированных катодом и ускорившихся на прикатодном скачке потенциала, и медленных, рождающихся в результате неупругих процессов в объеме плазмы. Установлено что различное поведение групп быстрых и медленных электронов в зазорах катод-анод и анод – УЭ позволяет осуществлять непрерывное управление стабилизированным током.

Предлагаемое устройство обеспечивает получение стабилизированного постоянного тока с регулируемой плотностью  $J_c = (10^{-1} - 10^1) \text{ А/см}^2$  при напряжении стабилизации  $U = (2 - 18) \text{ В}$ .

1. Айзенсон А.Е. и др. Электронная техника, сер. 3, №2 (10), 3 (1968)

## КАПНОГРАФ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Л. Н. Дворецкая

Новосибирский государственный технический университет

Из-за ухудшения экологии и в частности, аэротехногенного загрязнения воздуха, увеличивается количество бронхо-легочных заболеваний, что требует наличия средств диагностики дыхания. Для этих целей используются, в том числе, капнографы — медицинский прибор для измерения концентрации  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе, в основе которых используются в основном ИК-оптические датчики. Однако, стоимость современных приборов высока, поэтому актуальным является разработка недорогих капнографов, удовлетворяющих медицинским условиям.

Капнографы применяются в анестезиологии, реанимационных отделениях, палатах интенсивной терапии, где нужно следить за быстро изменяющимся состоянием больного. Индивидуальная диагностика дыхания с помощью капнографа, позволит человеку своевременно обнаруживать признаки хронической лёгочной недостаточности, что, как правило, является следствием нарушения в дыхательных путях, при таких заболеваниях как астма, различные формы дыхательной недостаточности, гипервентиляционный синдром и гиповентиляция. Своевременная диагностика дыхания позволит во время обратиться к специалистам.

К настоящему моменту существуют капнографы с достаточной точностью 0,2% и диапазоном измерения в газовых смесях с содержанием  $\text{CO}_2$  0—10% (МАР-02 «КАРДЕКС»; переносной капнограф/пульсоксиметр NPB-75, и др.), но они не доступны каждому человеку из-за высокой стоимости. Также существуют относительно не дорогие газоанализаторы для измерения  $\text{CO}_2$  в атмосферном воздухе (Roline TES-1370A; TIM10  $\text{CO}_2$ ), с диапазоном измеряемых концентраций 0-0,9%, что не подходит для мониторинга выдыхаемого воздуха.

Большинство известных капнографов основаны на методе ИК-оптического анализа газовой смеси. Метод измерения концентрации  $\text{CO}_2$  основан на том, что молекулы углекислого газа, имеют аномально высокий коэффициент поглощения на длине волны 4,25 мкм. Таким методом можно определить концентрацию углекислого газа, закиси азота и разных летучих анестетиков. Для повышения точности измерения необходимо учитывать влияние воды и  $\text{N}_2\text{O}$  в газовой смеси.

В настоящей работе предложено решение задачи по созданию более дешёвого капнографа для индивидуального применения. Сравниваются ИК-оптические и ультразвуковые датчики концентрации углекислого газа в воздухе. Рассматриваются альтернативные системы пробоотбора.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. И. Карапузиков

## **БЛОК "TIMER" – 90 МГц ДЛЯ МИКРОТРОНА ЛСЭ**

Д. А. Зверев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в специализированном отдельном корпусе Института химической кинетики и горения СО РАН создается Сибирский Центр фотохимических исследований на базе мощного лазера на свободных электронах. Строящийся полномасштабный ЛСЭ базируется на многооборотном микротроне-рекуператоре с энергией электронного пучка 40МэВ и будет иметь диапазон перестройки монохроматического излучения от 3 до 20 микрон со средней мощностью излучения до 50кВт.

Одним из необходимых условий качественной и стабильной работы ЛСЭ является правильное задание параметров инжектируемого в микротрон пучка. Помимо основных параметров, таких как эмиттанс, длительность и энергия электронных сгустков, необходимо чтобы вылетевший из электронной пушки пучок был согласован по временным характеристикам с ВЧ системой микротрона. Данное согласование подразумевает не только совпадение фазы ВЧ системы (необходимой для работы ЛСЭ) со временем вылета пучка из электронной пушки, но и плавную подгрузку ВЧ системы, путем постепенного увеличения частоты вылета электронных сгустков. Это связано с ограниченной мощностью ВЧ генераторов питающих ВЧ систему ЛСЭ.

Управление модулятором электронной пушки при помощи блока таймера позволяет выполнить временные требования к инжектору. На данный момент ЛСЭ Сибирского Центра фотохимических исследований оснащен таймером выполненном в устаревшем КАМАК стандарте. В связи с постепенным обновлением модулей ЛСЭ требуется замена данного таймера на более надежный, производительный и универсальный.

В данной работе разработан обновленный таймер с использованием современной электронной базы. Новый таймер задает частоту следования сгустков из электронной пушки в ЛСЭ и позволяет иметь максимальную выходную частоту 90 МГц, имеет встроенный корректор фазы инъекции, управляемый от широкополосного датчика тока пучка, а также оснащен тремя управляющими интерфейсами (CAN, Ethernet и USB).

Первое использование возможностей таймера произойдет в КАЕРИ (Корея), где пожаром была уничтожена электроника управления ЛСЭ созданного ИЯФ. Сейчас ведется работа по восстановлению этого ЛСЭ.

Научный руководитель – канд. техн. наук С. В. Тарарышкин

## ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЛАЙНЕРА ВИГГЛЕРА ЕМКОСТНЫМ МЕТОДОМ

А. В. Зорин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Лаборатория 8-2 Института ядерной физики СО РАН занимается созданием вигглеров на сверхпроводящих магнитах. Вигглер представляет собой два ряда магнитов, между которыми летит пучок электронов. Магниты создают знакопеременное магнитное поле, заставляющее пучок двигаться по извилистой траектории, близкой к синусоиде. В результате генерируется синхротронное излучение.

Пучок летит в вакуумной камере, сделанной из нержавеющей стали. Снаружи камера охлаждается жидким гелием. При такой конфигурации движущийся пучок вызвал бы сильные наведенные токи, нагревающие и испаряющие гелий. Поэтому внутри вакуумной камеры помещают так называемый лайнер — тонкостенную сплюснутую медную трубку, внутри которой и летит пучок. Сопротивление меди, как электрическое, так и тепловое, значительно меньше, чем нержавеющей стали.

При определенных условиях во время эксперимента случается срыв сверхпроводимости. При этом лайнер подвергается действию огромных сил, что приводит к его деформации. Целью данной работы является получение информации о вертикальной координате различных участков лайнера непосредственно во время эксперимента, в том числе срыва.

В качестве датчиков координаты используются конденсаторы. Лайнер является общей обкладкой всех конденсаторов; остальные обкладки вытравлены на печатных платах, прикрепленных к верхней и нижней стенкам вакуумной камеры. Таким образом, ширина щели между лайнером и платой обратно пропорциональна емкости соответствующего конденсатора. Характерный размер одной обкладки — 5x5 см; начальное расстояние между обкладками — 1 мм; емкость — порядка 10 пФ; пределы изменения емкости — от нуля (лайнер сильно вогнулся) до бесконечности (лайнер коснулся печатной платы). Кроме того, значительный вклад в измеряемую емкость вносят соединительные провода. Частота колебаний лайнера — от 0 до 10 кГц.

В настоящем докладе рассматриваются различные способы измерения емкостей. Рассказывается о потенциометрической, мостовой и других схемах измерения. Рассматривается работа амплитудного и синхронного детекторов. Учитывается влияние помех и соединительных проводов, обосновывается итоговый выбор схемы, дается оценка чувствительности. Сообщаются результаты эксперимента.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Н. А. Мезенцев

## **ВСТРОЕННАЯ ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСМИССИИ И ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Е. К. Мегис, А. А. Шингаркина, А. А. Власова

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых

Несвоевременное и некачественное обслуживание и ремонт автомобилей индивидуального пользования в сочетании с невысоким профессиональным уровнем вождения неизбежно связано с ухудшением уровня безопасности движения, с повышением расхода топлива и загрязнением окружающей среды. Наибольшее влияние на уровень безопасности движения оказывают неисправности ходовой части автомобиля. Однако из-за особенностей эксплуатации и обслуживания автомобилей индивидуального пользования диагностирование состояния их трансмиссии и подвески чаще всего происходит только во время государственного технического осмотра, т.е. один раз в год, что явно недостаточно.

При появлении неисправностей в узлах и элементах ходовой части автомобиля возникают ударные нагрузки. Предлагается использовать для измерения таких ударных нагрузок датчики детонации, предназначенные для определения возникновения детонационных явлений в автомобильных двигателях. Предполагается, что при помощи установленных в наиболее информативных местах подвески можно будет определить возникшие ударные нагрузки, источник их возникновения, а следовательно, и заблаговременно диагностировать появление неисправности определенного узла подвески или трансмиссии.

Использование датчиков детонации оправдано по следующим причинам: их производство давно освоено промышленностью; они приспособлены для работы в условиях повышенной вибрации и загрязнённости в широком температурном диапазоне; имеют удобный для дальнейшей обработки выходной сигнал и невысокую стоимость.

Использование указанной выше системы диагностирования позволит повысить надежность ходовой части автомобилей, снизить затраты на их ремонт и обслуживание, а также повысить безопасность движения за счет снижения аварийности и уменьшения внезапных отказов трансмиссии и подвески.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Е. А. Киндеев

## **ВЧ ВВОД МОЩНОСТИ ИНЖЕКТОРА ЭЛЕКТРОНОВ**

В. В. Козлов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время ускорители и ускорительная техника развиваются с большой скоростью. Одной из актуальных задач физики ускорителей и является формирование пучков для инжекции в ускоряющую структуру.

В настоящее время в ИЯФ СО РАН ведутся работы по созданию ВЧ инжектора электронов для ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров. ВЧ инжектор, работающий на частоте 100 МГц, должен формировать сгустки длительностью 0.8 нс ( $\sim 30^\circ$ ), средним током пучка 50 мА, энергией пучка на выходе 50 – 100 кэВ. Инжектор состоит из объемного коаксиального резонатора и электронной пушки, катодно-сеточный узел которой размещен непосредственно в ускоряющем зазоре.

Одним из важных элементов ВЧ инжектора является ввод мощности. Ввод мощности, для данного инжектора, представляет собой коаксиальный 75 Ом фидер с петлей связи на конце.

В работе приводятся зависимости мощности потерь в стенках резонатора и мощности передаваемой в пучок при различных значениях энергии пучка на выходе.

Рассчитана необходимая площадь петли для обеспечения согласования ввода мощности с резонатором нагруженным пучком. Рассмотрены вопросы о согласовании ввода мощности на пучок с различными токами и энергиями на выходе. Рассчитаны тепловые потери во вводе мощности.

Научный руководитель – К. Н. Чернов

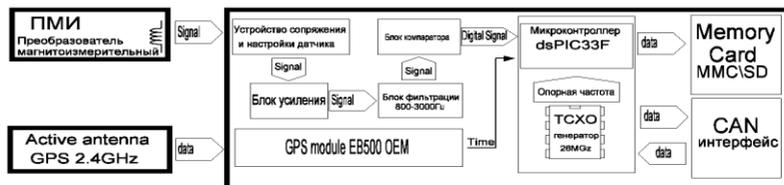
# РАЗРАБОТКА ПРОТОННОГО МАГНИТОМЕТРА ДЛЯ АБСОЛЮТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА МАГНИТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «БАЙГАЗАН» ОЗ. ТЕЛЕЦКОЕ<sup>1</sup>

Д. В. Кудин, Е. О. Учайкин  
Горно-Алтайский государственный университет

В магнитных обсерваториях используются протонные магнитометры, которые работают за счет эффекта свободной ядерной прецессии протонов. Частота ядерной прецессии есть величина, прямо пропорциональная измеряемому магнитному полю через коэффициент  $\gamma$ , равный 23.4874 нТл/Гц.

Для обеспечения абсолютных магнитных наблюдений на обсерватории «Байгазан» разработан протонный магнитометр на основе серийного протонного магнитометра ММП-203.

На рисунке представлена блок-схема разработанного магнитометра.



В результате, был создан протонный магнитометр с точностью  $\pm 1$  нТл и шумом  $\pm 0,8$  нТл, работающий в диапазоне магнитного поля от 20000 до 100000 нТл в градиенте не более 400 нТл/м, что удовлетворяет требованиям сети INTERMAGNET.

Разработанный магнитометр будет установлен в абсолютном павильоне обсерватории «Байгазан» в мае 2012 года.

1. *Гвоздарев, А.Ю.* Организация непрерывной регистрации магнитных вариаций на станции Байгазан (Телецкое озеро) [Текст]/*А.Ю. Гвоздарев, А.И. Бакиянов, А.А. Бетёв, Е.О. Учайкин, П.Б. Бородин, С.Ю. Хомутов* // Научный вестник Республики Алтай – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2010. – №4. – С.31-42; *Физика окружающей среды: Материалы VIII Международной школы молодых ученых.* – Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. – С. 46-59.

Научные руководители – канд. техн. наук, доцент А. Ю. Гвоздарев, канд. техн. наук, доцент Н. Г. Кудрявцев

<sup>1</sup> Работа поддержана грантом РФФИ 11-05-90772-моб\_ст

## ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ СУБНАНОСЕКУНДНЫЙ ОБОСТРИТЕЛЬ

М. А. Лаврухин

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Коммутирование высоковольтных импульсов за короткие времена (менее 1 нс) является актуальным направлением импульсной электроники благодаря большому количеству практических применений (релятивистская СВЧ электроника, рентгенография быстротекущих процессов, сверхширокополосная радиолокация, электромагнитное противодействие, подземная радиолокация, системы питания ускорителей, накачка лазерных систем и т.д.). В настоящее время существует много различных типов коммутационных устройств с субнаносекундными временами срабатывания (разрядники с высоким давлением газа, полупроводниковые коммутаторы, SOS-диоды и т.д.), каждый из которых обладает своими недостатками.

В ходе исследований свойств и характеристик «открытого разряда», особого вида газового разряда, основанного на эффекте фотоэмиссии под действием ВУФ – излучения рабочего газа, была продемонстрирована возможность создания на его основе высоковольтного обострителя пикосекундного диапазона. Отличительной особенностью обострителей такого типа, выделяющая его среди существующих, является уникальная совокупность рабочих параметров: переход из непроводящего состояния в состояние высокой проводимости за субнаносекундное время, высокая частота срабатывания (десятки килогерц), высокая эффективность, простота изготовления и т.д.

Исследованы коммутационные характеристики обострителей на основе «открытого разряда», представляющих из себя конструкции с коаксиально расположенными катодом и сеточным анодом. Пробой внутри обострителя происходит в гелии при давлениях несколько Тор.

Минимальное время коммутации исследовавшихся обострителей при напряжении до 20 кВ составило 450 пс и 650 пс нс при внутреннем диаметре катода 28 и 50 мм соответственно. Стоит отметить высокую эффективность (~0,9) коммутирования напряжения. Методом сдвоенных импульсов определена максимальная рабочая частота равная ~ 33 кГц. Показано положительное влияние примесей водорода на время и частоту коммутации.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук П. А. Бохан

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ГАРМОНИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ В КВАДРУПОЛЬНЫХ ЛИНЗАХ С ПОМОЩЬЮ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КАТУШКИ

И. Д. Маркова

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В современных ускорителях используются сотни квадрупольных линз, к качеству поля которых предъявляют специальные требования. В настоящее время в Институте ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН изготавливаются квадрупольные линзы для источника синхротронного излучения National Synchrotron Light Source II, США. Требования на величины паразитных гармоник линз достаточно высоки [1], поэтому задача понимания реальной точности стенда измерений качества поля линз актуальна.

Для определения мультипольных компонент магнитных линз широко используется следующая методика. Измерительный вал, состоящий из двух катушек, помещают в апертуру линзы и последовательно поворачивают вокруг оси на небольшие углы. При этом изменяется величина магнитного потока  $\Phi$  через катушку и на ее выводах появляется ЭДС  $\varepsilon = -d\Phi/dt$ . Если известна геометрия катушки и способ её перемещения, то, зная полное изменение магнитного потока через катушку, можно вычислить компоненты разложения магнитного поля.

В результате данной работы при измерении амплитуды гармоник были определены статистические ошибки, связанные с шумами и внешними электромагнитными наводками. Для определения систематической ошибки стенда было проведено 20 измерений гармоник для четырех положений линзы. Каждое положение соответствует повороту линзы вокруг своей оси на  $90^0$  относительно предыдущего. В приложении MathCAD была написана программа, которая позволяет по этим данным определить значение систематической ошибки стенда. Это значение для гармоники  $b_3$  будет учтено в результатах магнитных измерений. Сделан вывод, что точность измерительного стенда адекватна требованиям на качество поля квадрупольных линз, изготавливаемых для источника синхротронного излучения National Synchrotron Light Source II.

---

1. J. Skaritka, J. Bengtsson, G. Danby, et. al. THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF NSLS-II MAGNETS // Proceedings of PAC09, Vancouver, BC, Canada <http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/>.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. А. Старостенко

## **МНОГОКАНАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ГЕТТЕРНЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ**

С. И. Оненко

Новосибирский государственный университет  
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Одним из важнейших условий работы ускорителя элементарных частиц является наличие высокого стабильного вакуума. Для поддержания вакуума часто используют методику испарения химически активных металлов (Zn, Ti). В институте ядерной физики СО РАН был разработан автоматический многоканальный модуль питания титановых испарителей, для серийного производства которого потребовались доработки конструктивных и программных решений.

Модуль выполнен в конструктиве Schroff 2U, коммутирует 12 двухпроводных каналов, управляется как с передней панели в ручном режиме, так и удаленно по сети Ethernet, максимальный ток 50А.

В процессе доработки были внесены изменения в управляющую плату, программу управления, доработаны аппаратные узлы и документация для опытной серии.

Научный руководитель – Ш. Р. Сингатулин

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ СТЕНДА ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНЫХ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ ЛИНЗ**

В. С. Прощенко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Современные ускорители предъявляют очень жесткие требования к магнитным параметрам мультипольных линз. Для обеспечения необходимого качества измерений параметров линз в институте ядерной физики был создан аппаратно-программный комплекс, который активно используется в настоящее время для измерения параметров и юстировки квадрупольных магнитных линз, изготавливаемых в ИЯФ СО РАН для строящегося ускорителя NSLS-II в США.

Широко применяемая методика измерения мультипольных компонент магнитных линз заключается в том, что длинную измерительную катушку помещают в апертуру линзы и, поворачивая вокруг оси, измеряют приращения магнитного потока в зависимости от угла. Суммируя приращения, вычисляют зависимость интеграла поля от угла, откуда получают необходимые параметры линзы [1]. При этом магнитную линзу необходимо позиционировать с точностью 0.01мм по трем координатам. Выполнение данного процесса занимает много времени даже у квалифицированных работников. Поэтому существует необходимость в автоматизации этого процесса.

Настоящая работа посвящена созданию проекта по автоматизации стенда для измерений параметров магнитных мультипольных линз. Была разработана система подвжек, позволяющая позиционировать магнитную линзу с необходимой точностью. Чтобы исключить поломку измерительной катушки, причиной которой может стать сбой в автоматике, создана специальная система защиты. Разработанная система приводит к остановке двигателей и предотвращает поломку в случае, если вал со встроенной измерительной катушкой касается любого полюса магнитной мультипольной линзы.

- 
1. L. Walckiers. The Harmonic-coil method. – CERN Accelerator School 92-05, pp. 138-166

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. А. Старостенко

## ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ

К. А. Свиридов

Алтайский государственный университет, г. Барнаул

Промышленностью выпускается множество приборов для измерения прозрачности воды, основанные на различных методах измерения, большая часть из которых может использоваться только в лабораторных условиях. Поэтому разработка портативного прибора для проведения оперативных измерений прозрачности воды естественных водоемов, водопроводной воды, а так же на очистных сооружениях, является актуальной задачей.

Работа прибора основана на измерении прозрачности жидкой среды оптическим методом анализа, а именно турбидиметрическим. Поглощение лучистой энергии взвешенными частицами определяемого вещества описывается законом Бугера – Ламберта. Прибор конструктивно выполнен в виде двух блоков; измерительного блока и блока управления и обработки данных. Один погружаемый в воду герметичный корпус, содержащий источник излучения, фотоприемник и микроконтроллер для обработки сигнала. Второй корпус остается на поверхности, он содержит устройство отображения информации, кнопки управления прибором и микроконтроллер, управляющий всем устройством. Связь между корпусами обеспечивается проводами. Прибор включает в себя три источника излучения: красной, зеленой и синей области спектра, что позволяет проводить оценку количества и состава взвешенных частиц в воде. Световой поток, прошедший сквозь воду, попадает на фотоприемник, включенный в фотогальваническом режиме. Сигнал с преобразователя ток-напряжение поступает на усилитель с масштабируемым коэффициентом усиления. Усиленный сигнал преобразуется в цифровой восьмиразрядный код при помощи встроенного аналого-цифрового преобразователя и передается на микроконтроллер, находящийся на поверхности, при помощи универсального асинхронного приемопередатчика. После проведения необходимых расчетов по заданной программе, на дисплее отображается коэффициент поглощения для разных длин волн. Работа устройства осуществляется от автономного источника питания. Так же в приборе предусмотрен режим калибровки.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. В. Пашнев

## СОЗДАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МОЩНОСТИ КАК РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Н. Н. Семенов

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита

В работе рассмотрен аспект, связанный с теоретическим обоснованием работы импульсного преобразователя мощности как резервного источника электроснабжения зданий.

В соответствии с федеральным законом № 261 от 23 ноября 2009 года к 2017 году энергосбережение каждого предприятия, включая бюджетные организации должно составить не менее 15 % от существующих значений.

В работе была проанализирована работа импульсного преобразователя мощности, созданного авторами, который позволяет запитать относительно мощную нагрузку от маломощного источника – аккумуляторной батареи. Детальный теоретический анализ работы преобразователя позволил выявить источники дополнительной энергии, которые и обеспечивают бесперебойную работу устройства. Одним из источников дополнительной мощности, как это не парадоксально звучит, является невыполнение баланса мощностей в импульсных цепях. Подчеркиваем баланс мощностей, а не баланса работы.

Баланс мощностей соблюдается только в том случае, если во всех ветвях цепи действует сигнал одной частоты. К таким цепям в частности относятся цепи постоянного и переменного гармонического тока.

Мощность на нагрузке превысит мощность входного сигнала в  $n$  раз. Проигрываем в частоте, выигрываем в мощности. Причём для современных импульсных устройств частота не является определяющим фактором и может достигать на входе десятки МГц.

Разработанный преобразователь мощности может быть использован как в качестве резервного, так и основного источника электрической мощности для питания устройств различного назначения, включая мобильные системы.

---

1. Менакер, К.В. Разработка преобразователя мощности электрической энергии / К.В. Менакер //Проблемы трансферта современных технологий в экономику Забайкалья и железнодорожный транспорт. – 2011. – Т.2. – С. 225 – 233.

2. Попов, В.П. Основы теории цепей: Учеб. для вузов – 3-е изд., испр.- М: Вышш.шк., 2000.-575 с.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент К. В. Менакер

## **РЕЗЕРВНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ЦИФРОВОГО РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

И. И. Тихонок

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Разработка мобильных цифровых комплексов, позволяющих производить рентгенодиагностику пациентов с ограниченной подвижностью, является актуальной задачей. Как среди медицинских учреждений, так и среди силовых структур продолжает расти спрос на рентгенодиагностические комплексы со сравнительно небольшими габаритами, массой, временем разворачивания, а так же возможностью автономной работы. Целью проекта является разработка резервного источника питания для мобильного цифрового комплекса, в состав которого входит рентгеновский аппарат АРА-110/160-01 и цифровой приемник Альфа-Р-4000.

Разрабатываемый резервный источник питания предназначен для автономной работы цифрового комплекса в машинах скорой помощи, в передвижных пунктах медицинской помощи и других помещениях от нестабильно работающей сети 220В 50/60 Гц, от автомобильной сети 12/24В или от аккумуляторной батареи 12В. Резервный источник питания должен обеспечивать работу комплекса продолжительностью до 40 минут в режиме ожидания, либо выполнение до 10 рентгеновских снимков на максимальной мощности (режим 110 кВ, 100 мАс). Помимо этого, источник питания должен обладать функцией диагностики собственных основных внутренних каскадов с выводом информации на графический индикатор в случае возникновения аварийных ситуаций. Общий вес разрабатываемого резервного источника питания не должен превышать 25 кг.

К настоящему моменту выполнена научно-исследовательская разработка, результатом которой стал прототип резервного источника питания, полностью удовлетворяющий требованиям технического задания на разрабатываемое устройство. В дальнейшем планируется создание опытного образца источника питания для проведения ресурсных испытаний и улучшения характеристик устройства.

Научный руководитель – д-р техн. наук Э. А. Купер

## РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ МАГНИТОРАЗРЯДНОГО НАСОСА

Б. А. Числов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Для получения вакуума в системах транспортировки пучка промышленных ускорителей серии ЭЛВ, производимых в ИЯФ, используются магниторазрядные насосы типа НМД-4. Не смотря на то, что на рынке представлено большое количество различных источников питания насосов, все они обладают определенными недостатками, например, высокая стоимость, избыточная мощность, низкая ремонтпригодность или неоптимальная нагрузочная характеристика. Таким образом, при выборе источника приходится идти на компромисс.

Цель данной работы – разработка высоковольтного источника питания магниторазрядного насоса с напряжением на выходе до 7 кВ, током до 0,5 А, максимальной мощностью 0,5 кВт и заданной вольт-амперной характеристикой (ВАХ). Разрабатываемое устройство можно условно разделить на три основных функциональных блока: преобразователь частоты, высоковольтный каскад и система управления и стабилизации. Инвертор преобразователя питается выпрямленным сетевым напряжением и выполнен по мостовой схеме, в качестве ключевых элементов инвертора используются IGBT транзисторы. Высоковольтный каскад состоит из повышающего трансформатора и выпрямителя со схемой удвоения напряжения. Основой системы управления является микроконтроллер фирмы Atmel, набор встроенных периферийных устройств которого позволяет полностью организовать управление источником. В его задачи входят формирование сигналов управления транзисторами преобразователя частоты, мониторинг систем защит и обработка сигналов обратной связи для формирования требуемой ВАХ устройства. Преимуществом использования микроконтроллера является возможность задавать и корректировать параметры выходной характеристики программным образом, т.е. без конструктивных изменений устройства.

В работе представлены методики и результаты расчетов, на основе которых выбирались принципиальные схемы и компоненты, а так же результаты запусков разрабатываемого источника. На данный момент прототип устройства собран и проходит испытания.

Научные руководители – д-р техн. наук П. И. Немытов,  
Ю. И. Голубенко

# КАЛИБРОВКА БЕСПЛАТФОРМЕННОГО МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УСКОРЕНИЙ И УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ В ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В. В. Шаврин, А. С. Конаков

Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники

Для решения навигационной задачи наряду со спутниковыми радионавигационными системами (СРНС) применяются комплексированные навигационные системы (КНС), состоящие из СРНС и инерциальных навигационных систем (ИНС). Эти системы позволяют не только повысить точность СРНС, но и определять координаты пользователя в условиях неуверенного или отсутствующего сигнала от СРНС, что особенно актуально в городских условиях.

Точность решения навигационной задачи в КНС зависит от точности определения параметров математической модели сигналов датчиков ускорения и угловых скоростей, входящих в состав БИНС [1]. Параметрическая идентификация датчиков выполняется с помощью процедуры калибровки. Существуют несколько способов калибровки [2]. Наиболее подходящими являются шестипозиционный и многопозиционный методы. Первый из них достаточно прост в аналитическом плане, но требует вспомогательного лабораторного оборудования. Многопозиционный метод (более сложный аналитически) не требует дополнительного оборудования, реализуем в полевых условиях, и позволяет оценить все параметры модели сигналов датчиков.

В работе рассматриваются различные методы калибровки датчиков ускорений и угловых скоростей. Выполнено моделирование шестипозиционного и многопозиционного методов в обычном и модифицированном вариантах. Исследованы их точностные характеристики, проведено моделирование полевой калибровки датчиков. Экспериментально получены значения параметров для микроэлектромеханического бесплатформенного датчика ADIS 16534.

1. Schwarz K.P. and Wei M. INS/GPS Integration for Geodetic Applications, Lecture Notes ENGO623, Department of Geomatics Engineering, Alberta: The University of Calgary, Canada, 2000.
2. Shin, E.-H. Accuracy Improvement of Low Cost INS/GPS for Land Applications, Thesis, UCGE reports Number 20156, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada., Canada, 2001.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В. И. Тисленко

# ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

## ИНФРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТРУБОПРОВОДОВ – НОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

К. В. Супрунчик

Научно-производственная фирма «ТОРИ», г. Новосибирск

Известные методы обработки сигналов не позволяют выделять инфразвуковой сигнал из шума в одномерных системах, например, в трубопроводах в силу идентичности спектральных зависимостей, что определяется природой распространения таких колебаний на большие расстояния (сотни километров). С другой стороны, остро стоит задача регистрации инфразвуковых колебаний, сформированных утечкой жидкости из трубопровода. Актуальность данной задачи определяется убытками, которые несут компании от хищений нефти и нефтепродуктов из трубопроводов в России. Простые оценки дают цифру в несколько триллионов рублей [1]. Утечки наносят непоправимый вред здоровью людей, экологии, загрязняя территорию, по которой проложены нефтепроводы, нефтепродуктопроводы. Воровство нефти из трубопроводов в последние годы приняло масштаб национальной угрозы [2]. В работе рассматриваются физические методы регистрации инфразвуковых сигналов от утечек. Предложен специальный метод обработки сигналов, позволивший решить обратную задачу для одномерного объекта. Такой подход позволил в разработанной «Инфразвуковой системе мониторинга трубопроводов» (ИСМТ) повысить чувствительность к утечкам от 10 до 100 раз по сравнению с известными методами и разработанными на их основе системами и решить задачу защиты трубопроводов от утечек. Приведены характеристики известных систем обнаружения утечек: СНКГН НИИ интроскопии при Томском политехническом университете; «WaveAlert Acoustic Leak Detection System» компании Acoustic Systems Incorporated (США); «Leak and Impact / Shock Detection System L.D.S.» (Франция), результаты испытаний и внедрения ИСМТ в ОАО «Газпром», ОАО «АК «Гранснефть», в других компаниях в России. Для Новосибирской области, так же как и для других регионов России, остро стоит задача защиты территории от утечек нефти для исключения возможности повторения катастроф аналогичных утечке нефти в Мошковском районе в апреле 2008г.

1. [www.torinsk.ru/bt2010.html](http://www.torinsk.ru/bt2010.html).
2. [www.rf-region.ru/projects/583.htm](http://www.rf-region.ru/projects/583.htm).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. В. Супрунчик

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ ЧАСТИЦ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ С ЦИФРОВЫХ ГОЛОГРАММ

А. Ю. Давыдова

Томский государственный университет

В настоящее время методы цифровой голографии получили широкое научно-практическое применение при решении задач экологии и биологии, например при исследовании планктона. При восстановлении в изображениях частиц присутствуют шумы, снижающие качество восстановленных изображений и затрудняющие процесс определения характеристик частиц (формы, размеров и координат). В настоящей работе рассматриваются шумы, обусловленные взаимным влиянием мнимого и действительного изображений, восстановленных с голограммы. Методы подавления изучаемых шумов можно разделить на три группы – методы, требующие восстановления цифровой голограммы (пространственно-частотный и итерационный методы [1]), методы предварительной обработки цифровой голограммы (фильтрация Фурье-спектра цифровой голограммы, метод восстановления фазы [2]) и методы внеосевой голографии. Для исследования границ применения и погрешностей методов используется критерий качества восстановленного изображения – граничный контраст [3]. В работе произведена оценка границ применимости пространственно-частотного метода и метода вычитания (итерационный метод) [4]. Реализованный метод восстановления фазы позволяет улучшать качество восстановленных изображений частиц, и требует дальнейшего исследования его границ применения и погрешностей. Кроме того, для количественной оценки реализованных методов необходимо выбрать критерий эффективности.

1. L. Denis, C. Fournier, Th. Fournel, Chr. Ducottet, Twin-image noise reduction by phase retrieval in in-line digital holography, Wavelets XI, SPIE's Symposium on Optical Science and Technology, San Diego, CA, USA (2005).
2. G. Liu, P.D. Scott, Phase retrieval and twin-image elimination for in-line Fresnel holograms, Optical Society of America, 4, 1 (1987).
3. В. В. Демин, Д. В. Каменев, Критерии качества голографических изображений частиц различной формы, Изв. вузов. Физика, 53, 9, 46-53 (2010).
4. В. В. Демин, А. Ю. Старинщикова, Методы уменьшения взаимного влияния мнимого и действительного изображений в цифровой голографии частиц, Изв. вузов. Физика, 53, 9/3, 42-45 (2010).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. В. Демин

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЫСТРОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ДЕТЕКТОРА КМД-3

С. А. Анохин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН на ускорительном комплексе ВЭПП-2000 для проведения экспериментов в области физики элементарных частиц используется детектор КМД-3.

Система сбора данных детектора рассчитана на регистрацию событий с частотой до 1 кГц. На практике существенную часть потока событий составляют фоновые срабатывания. Оперативная реконструкция событий в режиме реального времени позволяет осуществлять их классификацию и отбрасывать фоновые срабатывания (третичный триггер), а также контролировать исправность электроники и систем детектора и измерять различные параметры набираемых данных.

Аналогичным образом быстрый анализ данных способен существенно оптимизировать процесс последующей обработки. Обычно пользователям требуется анализ лишь небольшого подмножества событий, принадлежащих определенному классу, для выборки которых достаточно грубой оценки некоторых параметров (например, количества треков). Ясно, что быстрый предварительный отбор способен значительно уменьшить объем входных данных, а значит, и время, необходимое для их дальнейшей обработки с помощью более точных алгоритмов.

В рамках представленной работы была реализована система быстрого анализа данных, включающая в себя третичный триггер и систему тегирования событий (СТС). Третичный триггер был реализован в виде модуля, встраиваемого в программу первичной компоновки событий из фрагментов сырых данных. Управление триггером осуществляется с помощью алгоритма, написанного на встроенном языке сценариев. Преимуществом данного подхода является то, что с одной стороны встроенный язык предоставляет удобный, проблемно-ориентированный синтаксис, с другой – позволяет сделать безопасную обработку ошибок времени исполнения частью семантики. СТС была реализована в виде инфраструктуры создания, хранения и анализа метаданных (тегов) событий и интегрирована в существующую систему обработки. СТС позволяет ускорить анализ данных в десятки раз.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. Б. Логашенко

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИБОРОВ ОПТО-И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

И. П. Васильев, А. М. Лопатько

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

При разработке приборов микро- и оптоэлектроники необходим контроль параметров изготавливаемых полупроводниковых приборов и структур с помощью набора измерительных методик. К таким методикам можно отнести вольт-амперную характеристику (ВАХ), вольт-фарадную характеристику (ВФХ), полевые и частотные зависимости фотоэлектрических и шумовых параметров в сочетании с программно контролируемыми внешними воздействиями: фоновой засветке, изменения температуры структуры и т.д. Применение средств автоматизации не только повышает достоверность получаемой информации, но и позволяет проводить измерения, недоступные при ручном управлении. Дополнение автоматизации измерений программами обработки их результатов позволяет поднять качество автоматизированных экспериментов.

В данной работе сообщается о разработке аппаратно-программного комплекса (далее АПК), реализующего указанные выше методики на современном уровне проектирования и изготовления с применением элементной базы мировых производителей. В основе структуры АПК лежит (как функционально, так и геометрически) блочная идеология, что в сочетании с управлением системой коммутации между измерителями обеспечивает комбинирование используемых методик настройки. Использование современной элементной базы и применение технологии печатного монтажа, позволило добиться следующих диапазонов измерения параметров: емкостей – 0,5...4000 пФ, тока — (10 ÷ 60000) пА с точностью менее 1%. Диапазон измерения постоянного напряжения на исследуемом объекте  $\pm 10$  В с шагом 5 мВ, регистрируемые значения фотоЭДС от  $10^{-5}$  В до  $10^{-2}$  В, коэффициент шума схемы регистрации напряжения шума 1.02, минимально регистрируемый уровень шума – около  $10^{-9}$  В.

Исследование электрофизических, фотоэлектрических и шумовых свойств полупроводниковых фоторезисторов, а также МДП-структур с помощью разработанного АПК показало высокую точность значений измеренных параметров исследуемых объектов, а большой объем полученной информации позволил обнаружить ряд особенностей протекания электронных процессов в полупроводниках при допороговых воздействиях, связанных со структурной перестройкой решетки полупроводника.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, проф. В. Н. Давыдов

# СОЗДАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ДЕТЕКТОРОМ КМД-3

С. Е. Гаязов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В современном мире проведение экспериментов немислимо без автоматизации процесса сбора и обработки данных. В исследованиях с использованием детектора КМД-3 используется множество разнородных программных систем. С точки зрения рядового пользователя, управление всеми системами должно выглядеть единообразно, так как только все в совокупности они обеспечивают работу в целом. Как следствие, возникает задача обеспечения эффективного управления этими системами.

Решить эту задачу может система, которая предоставляет интерфейс для сбора данных со всех подсистем и единый интерфейс для управления подсистемами (далее «надсистема»). При проведении исследования существующих систем (Dashboard[1], AGIS[2]) с похожей функциональностью были выделены общие части и отмечены некоторые подходы к реализации функциональности.

Поскольку требовалось создание как минимум двух подобных надсистем, одна в системе сбора данных, и еще одна в системе обработки, было принято решение о разработке фреймворка, который являлся бы основой в построении надсистем. Данный фреймворк должен обеспечивать быстрое и удобное создание надсистем малой и средней сложности, и при этом не он должен создавать серьезных ограничений для пользователей и разработчиков.

В основе серверной части лежит свободный фреймворк для WEB-приложений Django[3], который обеспечивает хранение, сбор и предоставление данных. В основе клиентской части лежит библиотека JQuery[4], которая обеспечивает создание динамического интерфейса для управления системой и отвечает за отображение данных.

В данной работе рассматривается разработка фреймворка и создание на его основе надсистем для нужд коллаборации КМД-3.

- 
1. The Dashboard project, <http://dashboard.cern.ch/>
  2. ATLAS Grid Information System, <http://atlas-agis.cern.ch/>
  3. Официальный сайт Django, <https://www.djangoproject.com/>
  4. Официальный сайт библиотеки JQuery, <http://jquery.com/>

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент И. Б. Логашенко

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПОВЕЩЕНИЙ ДЛЯ КМД-3**

Д. А. Глинянов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время на детекторе КМД-3 продолжается набор экспериментальных данных. Важной задачей во время набора статистики является мониторинг состояния оборудования и контроль поступающих данных. В случае выхода значений получаемых данных из допустимых пределов или сбоя аппаратуры система должна определить нештатную ситуацию и принять действия по оповещению оператора. В последнее время использовалась встроенная в систему сбора данных система оповещения. В ходе эксплуатации существующей системы оповещения выяснилось, что её функциональность недостаточна, и что требуется новая система оповещений.

Обзор существующих решений показал, что ни одно из них не удовлетворяет потребности команды КМД-3 полностью, в связи с чем было принято решение разработать и реализовать собственное решение. Ключевые требования, которые были выработаны к новой системе делятся на две категории. Первая отвечает за функциональность приложения. Необходимо предоставить возможность отслеживать более сложные ситуации, такие как объединения нескольких условий в одно, сравнение данных в базе с их предыдущими значениями и анализ данных как функций от времени. Вторая группа требований предполагает наличие удобного интерфейса для создания новых условий оповещений, управления существующими оповещениями и частичной автоматизации реакции на сработавшие оповещения. По совокупности таких факторов, как масштабируемость решения, простота реализации и поддержки и пожелания будущих пользователей в качестве интерфейса было выбрано кросс-платформенное веб-приложение.

К настоящему моменту реализованы большая часть требуемой функциональности и первый прототип веб-интерфейса. Ведется работа по созданию конечной версии интерфейса с использованием современных веб-технологий. В ближайшее время планируется тестовое использование проекта в команде КМД-3.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент И. Б. Логашенко

# ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС В СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ REDUCE

П. В. Глотов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В каждой научной деятельности всегда является важным представление результатов вычислений в удобном, а самое главное наглядном виде. Для этих целей используется множество программ для сложных вычислений и расчётов, облегчающих работу. Одной из таких программ и является система Reduce. Это усовершенствованная система компьютерной алгебры. Ее возможности варьируются от аналитических вычислений (интегрирование и дифференцирование) до работы с матрицами Дирака. Она особенно полезна для символьных вычислений, математических исследований и разработки новых математических алгоритмов.

Данная работа посвящена реализации графического интерфейса в системе Reduce с помощью пакета TeXmacs. TeXmacs – это бесплатный научный текстовый редактор широко известный в научных кругах, созданный Йорисом ван дер Хёвенем (Joris van der Hoeven). TeXmacs позволяет писать структурированные документы и содержит необходимый высококачественный набор алгоритмов для выполнения поставленной задачи.

Чтобы реализовать максимальную интеграцию Reduce в TeXmacs нужно реализовать несколько важных и основополагающих пунктов данной работы. Во-первых, полностью интегрировать стандартную help систему Reduce в TeXmacs, которая состоит из множества отдельных файлов. Далее необходимо доработать вызов системы Reduce в документе без полноценного её запуска, а только для выполнения промежуточной задачи, т.е. добавление возможности выполнения одного оператора Reduce и вставки результата вычисления на его место в документ. Реализовать ввод данных в математической моде, для более наглядной и простой работы с программой. Интегрировать основной набор команд Reduce в стандартную систему меню TeXmacs, что позволит даже не знакомым с системой Reduce людям использовать необходимый функционал программы для решения базовых задач. Все это позволит в дальнейшем использовать максимальную функциональность обеих программ.

После выполнения данных пунктов все разработки и изменения будут переданы разработчикам системы TeXmacs для включения в стандартный дистрибутив программы, начиная со следующей версии.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. Г. Грозин

## КАЛИБРОВКА АМПЛИТУД ИЗМЕРЕННЫХ В ЯЧЕЙКЕ ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЫ ДЕТЕКТОРА КМД-3

Е. М. Громов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН ведутся эксперименты на установке со встречными электрон-позитронными пучками ВЭПП-2000 [1]. Использование методики «круглых» пучков позволило увеличить светимость коллайдера в 10 — 100 раз по сравнению с предыдущей установкой ВЭПП-2М и, кроме того, расширить диапазон энергий до 2 ГэВ в системе центра масс.

Универсальный детектор КМД-3, использующийся в эксперименте, обладает как высокой эффективностью регистрации многочастичных событий, так и высокими энергетическими и угловыми разрешениями для фотонов и заряженных частиц.

Одним из компонентов детектора является дрейфовая камера. Она состоит из 1218 гексагональных дрейфовых ячеек и служит для определения параметров трека в магнитном поле детектора и для измерения удельных потерь энергии (потерь энергии на единицу длины пути  $dE/dx$ ), которые используются для идентификации частиц. Однако, различные эффекты, в частности, разное напряжение на проволочках дрейфовой камеры, краевые эффекты от проводящих фланцев создают сложную зависимость амплитуды сигнала в ячейке от координат хита (места прохождения трека через ячейку), параметров трека и самих потерь энергии. Эта зависимость значительно ухудшает систематическую ошибку определения удельных потерь энергии. Таким образом, необходимо вносить поправки к измеренной амплитуде, учитывающие все эти эффекты.

В работе представлена процедура калибровки амплитуд, которая убирает зависимости от координат хита, параметров трека и значительно понижает систематическую ошибку определения удельных потерь.

---

Yu. M. Shatunov et al., Project of a new electron-positron collider VEPP-2000. Proc. Of EPAC-2000, Vienna, p. 439.

G. V. Fedotovitch [CMD-3 Collaboration], CMD-3 Detector For VEPP-2000. Nucl. Phys. Proc. Suppl. 162 (2006) 332.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Б. И. Хазин

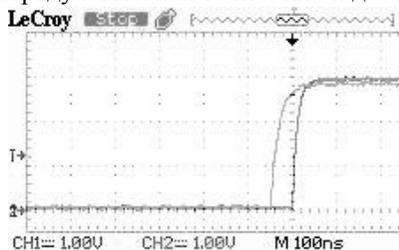
## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К СОЗДАНИЮ GPS СИНХРОНИЗАТОРА ВРЕМЕНИ

Д. В. Кудин, Е. О. Учайкин

Задача синхронизации компьютера с временем UTC (всемирным координированным временем) при наличии стабильного Интернет соединения решается достаточно просто. Однако, в местах где интернет соединение нестабильно или оно просто отсутствует, например в автономных геофизических обсерваториях, возникает необходимость решать данную проблему с использованием альтернативных вариантов. Один из таких вариантов – получение сигнала 1PPS от GPS приемника.

Для решения данной задачи в лаборатории робототехники ГАГУ был разработан универсальный низкобюджетный синхронизатор времени с использованием GPS модуля EB-500, подключаемого к USB драйверу COM порта, выполненного на базе кристалла FT232. GPS модуль имеет выход 1PPS, который при достаточном количестве спутников выдает синхронизированный секундный импульс с точностью не менее 1мкс, что позволяет более точно настроится приемной аппаратуре на время UTC. Вывод 1PPS был подключен ко входу сигнала CTS драйвера COM порта в результате чего появилось возможность принимать синхронизирующий секундный импульс GPS на программном уровне в различных ОС.

В процессе исследований было проведено сравнение разработанного в лаборатории устройства с устройством Resolution T, хорошо зарекомендовавшим себя при решении задач синхронизации, но имеющим наряду с высокой точностью и достаточно высокую стоимость.



Сравнения производились путем подключения к выводам 1PPS модулей Resolution T и EB500 двух каналов осциллографа. В процессе эксперимента измерялось время разницы между положительными фронтами наблюдаемых сигналов (см. осциллограмму).

Результаты сравнительного анализа показали, что низкобюджетный вариант GPS синхронизатора, разработанный инженерами лаборатории робототехники, обладает характеристиками, позволяющими использовать его при решении большинства геофизических в области синхронизации сигналов.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Н. Г. Кудрявцев

## **УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ И БЛОКИРОВКИ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ УСТАНОВКИ ГДЛ**

А. М. Медведев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Большинство установок Института ядерной физики относятся к системам с повышенной опасностью. Высокие напряжения, большое энергосодержание, использование пожароопасных и химически активных элементов — эти и другие факторы могут создать угрозу для жизни и здоровья людей и привести к значительному материальному ущербу в случае аварии. Безопасность на таких объектах обеспечивается организационными и техническими средствами. Одним из стандартных технических средств являются устройства-блокираторы по одной величине, срабатывающие по выходу этой величины за допустимые границы. Обычно на установках имеются сотни таких несложных устройств-блокираторов.

Настоящая работа описывает техническое средство повышения безопасности установки ГДЛ, представляющее из себя аппаратное устройство, выполняющее анализ сигналов системы формирования магнитного поля установки. Ключевая особенность данной системы заключается в том, что признаком нарушения её нормальной работы является не только значения сигналов, но и время существования определенного набора значений сигналов. Устройство имеет канал отображения состояния системы и предоставляет средство аварийного дистанционного отключения системы оператором.

Учитывая удаленность системы формирования магнитного поля от места, где находится оператор, устройство проектируется из двух блоков — обработка и передача информации со стороны опасной системы, прием и отображение — со стороны оператора. Информация и питание передается по одной линии связи с использованием частотно модулированного уравновешенного кода «Манчестер-2». Базой для обеих частей устройства являются микроконтроллеры, их использование позволяет адаптировать устройство для широкого класса задач.

Устройство дублирует важные функции основной системы управления и повышает уровень безопасности на системе формирования магнитного поля. При этом за счет узкой направленности задачи и специального подхода к проектированию вероятность сбоя данной системы в несколько раз ниже, чем у основной системы управления.

Научный руководитель — канд. техн. наук Ю. В. Коваленко

## ДИСТАНЦИОННЫЙ РОБОТ М-1

С. О. Семенов

Северо-восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова,  
г. Якутск

В наше время основной проблемой загрязнения окружающей среды является промышленный и пищевой отход. Территория загрязнений с каждым годом возрастает. Дистанционный робот «М-1» может справиться с уборкой мусора с захватом большой территории и без ограничения времени.

Робот управляется дистанционно с помощью трех микрочипов, на расстоянии не более 10 метров. Главное достоинство модели, это управление роботом без участия человека, так как вредные отходы, например: химические, бытовые могут повлиять на состояние здоровья человека.

Большинство промышленных роботов – это так называемые «механические руки», или манипуляторы. Созданный робот, «М-1» собирает мусор с помощью манипуляторов. Правый манипулятор убирает отходы с помощью электромагнита, благодаря надежным свойствам электромагниты широко применяются в технике. Они быстро размагничиваются при выключении тока. Магнитные свойства можно регулировать, меняя силу тока. Электромагниты, обладающие большой подъемной силой, используют для сбора мусора из металла и мелких деталей. Левый манипулятор собирает мусор силой захвата. Робот способен передвигаться в любых труднодоступных местах. Степень свободы манипулятора равна трем. [1]

Модель сделана из легкодоступных материалов: фанеры. Все детали скреплены с помощью деревянных шипов и клея. Использовался 3 выключателя, 7 моторчиков, 15 батареек с напряжением 12 вольт. С помощью экспериментов и опытов, достигли моделирования робота «М-1». Сам робот представляет собой прототип.

Роботы, занимающийся уборкой промышленных отходов до конца не разработаны.

---

1. Артоболовский И.И. Теория машин и механизмов, М.: Наука 1988 640 с

Научный руководитель – канд. ист. наук В. И. Пестерев

## **БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ BERTAN 210**

А. А. Стельвага  
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в автоматизации промышленных или научных систем существует тенденция по переходу от аналоговых линий связи к цифровым. Это связано с меньшей стоимостью цифровых линий передачи и их большей помехоустойчивостью. Однако многие устройства, используемые на установках, имеют только аналоговый интерфейс. Таким образом, возникает необходимость преобразования аналоговых сигналов в цифровые в непосредственной близости от места их получения. Для этой цели могут быть использованы микроконтроллеры.

В автоматизации применяются разнообразные архитектуры микроконтроллеров с различными интерфейсами для взаимодействия с внешним миром. Стандартными интерфейсами для установок ИЯФ являются Ethernet и RS 232/485, последний используется в приборах, работающих на относительно низких скоростях обмена данными. В данный момент отсутствуют стандарты протоколов для работы с этими интерфейсами. Достаточно часто используется промышленный протокол Modbus, имеющий реализацию в том числе и для RS 232/485. Драйвера для работы с Modbus включены в стандартные средства разработки, например LabView.

В настоящее время на установке ГДЛ (ИЯФ СО РАН) используются прецизионные, высоковольтные источники питания Bertan 210 серии. Дистанционное управление и мониторинг их состояния обеспечиваются набором аналоговых сигналов, подаваемым на вход приборов. Целью данной работы является создание устройства, способного транслировать управляющие цифровые сигналы в аналоговые, а измеряемые аналоговые в цифровые. Настоящее устройство реализовано на базе микроконвертера ADuC. Микроконвертеры это устройства под управлением контроллеров 51 серии, ориентированные на аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразования, содержащие ЦАП и АЦП высокой точности.

Разработанное устройство обменивается цифровой информацией по протоколу Modbus с использованием написанной библиотеки, являющейся универсальной для всех контроллеров семейства Intel 8051. Реализована свободная версия продукта, стоимость коммерческой версии которого несколько тысяч долларов. Таким образом, разработка этой библиотеки имеет особую ценность в связи с широким использованием контроллеров 51 серии на плазменных установках ИЯФ.

Научный руководитель – канд. техн. наук Ю. В. Коваленко

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. П. Ташлыков

Физико-технический институт

Иркутский государственный технический университет

На сегодняшний день одной из актуальных тем фундаментальной науки являются хаотические колебания. Они характеризуются сложностью описывающих их законов (обычно, нелинейной природы), чувствительностью к первоначальным условиям и фрактальной структурой так называемых фазовых портретов. Компьютерное моделирование – важный этап в исследовании хаотических явлений. Кроме того, с помощью компьютерной модели можно совершить качественный переход от теоретических наборок к практическим. Именно поэтому кажется целесообразным использование среды программирования Labview совместно с пакетами расширения Control Design and Simulation Module и Mathscript. Это позволяет совместить моделирование с программной реализацией практических разработок, например: создание генераторов хаотических колебаний, имеющих перспективу в связи, или создание программного обеспечения средств защиты информации.

В данной работе рассмотрены модели канонических примеров теории хаоса: модель Лоренца, описывающая динамику тепловой конвекции в жидкости, модель Рёсслера, описывающая динамику химических реакций, протекающих в ёмкости с перемешиванием, а также цепь Чуа – самая известная модель хаотических колебаний в электротехнике. Программы реализованы в среде Labview. Эмпирически исследованы различные режимы колебаний этих систем в зависимости от управляющих параметров. Особо примечательным в демонстрируемых программах является простота их реализации и наглядность, позволяющие даже инженеру, не искущённому в математике и программировании, довольно легко оперировать дифференциальными уравнениями и программно задавать изменение управляющих параметров, совершая переход от одного колебательного режима к другому, что может оказаться полезным при создании генераторов хаоса, основанных на алгоритме переключения хаотических режимов.

- 
1. Francis C. Moon. Chaotic vibrations.
  2. Labview 2010. Examples.
  3. А. С. Дмитриев. Динамический хаос как парадигма современных систем связи.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Г. Ченский

## ТЕСТОПРИГОДНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СМЕШАННЫХ МИКРОСХЕМ

А. А. Юхненко

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых

В современной электронике наблюдается переход от использования универсальных микросхем-блоков для построения сложных систем к использованию систем на кристалле – заказных микросхем. Одной из главных сфер применения смешанных микросхем является управление техническими системами. Исполнительные узлы таких систем чаще всего представляют собой электромеханические устройства (электродвигатели и т.п.), управление которыми осуществляется изменением уровня непрерывных сигналов. Выходная информация измерительных узлов, представленная непрерывным сигналом, нуждается в оцифровке. Таким образом, задача преобразования сигналов становится одной из основных для подобных устройств, а аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи одними из часто применяемых компонентов смешанных систем.

Показатель надежности является крайне важным для систем автоматизированного управления, что выводит на первый план задачу тестирования. Распространенные сейчас техники тестопригодного проектирования цифровых микросхем показали свою эффективность и могут быть применены для разработки смешанных микросхем.

Целью работы является создание методики тестопригодного проектирования устройств, включающих в себя преобразователи сигналов (АЦП и ЦАП). Тестопригодное проектирование опирается на критерий тестопригодности устройства и строится на основе структурных тестов. Для улучшения тестопригодности в схему вносятся изменения, связанные с добавлением тестирующих компонентов. Следствием таких изменений может являться увеличение занимаемой схемой площади кристалла.

Разрабатываемая методика способствует проектированию тестопригодных смешанных микросхем с сохранением оптимальных параметров самих устройств.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент С. Г. Мосин

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Д. И. Соллогуб

Южно-Уральский профессиональный институт, г. Челябинск

Современный мир уже невозможно представить без электронных устройств, которые выполняют множество задач, помогая человеку, а зачастую полностью автоматизируя протекающие процессы.

Для проверки работоспособности устройств и их дальнейшую отладку необходимо сравнивать электрические параметры на контрольных точках устройств, модулей и блоков. Для этих целей существует специальное измерительное оборудование, вольтметры, амперметры, омметры, осциллографы и т.д. В связи с потребностью таких измерений было разработано устройство для снятия данных характеристик с помощью ПК.

Исходя из стоимости измерительного оборудования, было принято решение максимально удешевить данное устройство при том же перечне задач, которые позволяют производить существующие на данный момент устройства для измерения электрических показателей.

Принцип работы с устройством заключается в подключении к контрольным точкам, либо к узлам аппаратуры с целью получения электрических параметров, таких как: напряжение, его изменения во времени и по направлению.

Разработанное устройство позволяет настраивать радиоаппаратуру, а так же знакомится с методами получения электрических показателей и характеристик. Заносить измерения в базу данных, для последующей обработки и анализа.

Достоинством данного устройства является его простота, экономический показатель, универсальность.

Практическая эффективность от внедрения устройства заключается:

- в снижении затрат на измерительное оборудование;
- в универсальности и мобильности устройства;
- в получении необходимых характеристик с возможностью сохранения в электронную базу данных.

Научный руководитель – С. Ю. Коваленко

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА .....</b>	<b>5</b>
М. С. Аксенов .....	5
М. В. Алёйникова .....	6
Д. В. Алябьев, В. Г. Стельмах .....	7
Д. А. Ахметзянов, В. Б. Дудникова, Е. В. Жариков, Е. Р. Житейцев, В. Ф. Тарасов .....	8
В. В. Бебнева, И. В. Силкин, Т. В. Меньщикова, Е. В. Чулков .....	9
Р. Г. Бикбаев, А. Ю. Авдеева .....	10
Н. Г. Бобенко .....	11
П. В. Винокуров, И. И. Куркина .....	12
В. В. Вишникина, Ю. С. Петрова, Т. М. Яскевич .....	13
М. Н. Волочаев, А. В. Джес .....	14
А. Е. Гайдук .....	15
А. В. Герт .....	16
В. А. Голяшов .....	17
Д. И. Горн .....	18
А. С. Гребенников, И. А. Егорова .....	19
И. А. Денисов .....	20
В. В. Денисюк .....	21
М. Е. Бычков, М. А. Дергачёв .....	22
И. Э. Жаксылыкова .....	23
А. А. Жохова .....	24
О. В. Зайцева, О. Г. Казаковская .....	25
В. И. Закомирный .....	26
А. М. Игошкин .....	27
Д. Е. Иннокентьев .....	28
М. А. Каныгин, О. В. Седельникова .....	29
А. Б. Каршиев .....	30
Д. П. Кириченко .....	31
С. М. Кожевников .....	32
Ю. Е. Кондратова, Е. В. Махватова .....	33
Ю. Е. Кондратова, Е. В. Махватова .....	34
А. Ю. Кохановский .....	35
А. А. Кошкарев .....	36
И. И. Куркина .....	37
К. А. Лозовой, А. М. Турапин, В. Г. Сатдаров, Е. А. Калинин, А. А. Пицагин .....	38
А. А. Лямкина, С. П. Мощенко .....	39
А. А. Лямкина, С. П. Мощенко .....	40
С. В. Макаренко .....	41

Д. С. Мисерев .....	42
Е. А. Михантьев.....	43
А. В. Мошкина, О. Л. Роденко .....	44
Н. Т. Муталов .....	45
А. К. Мухышбаева, Б. З. Абдукадиров, З. М. Кидиралиева, З. Т. Уматова, А. Т. Жумажанова .....	46
А. А. Настулявичус .....	47
Н. А. Небогатикова .....	48
Д. В. Нестеров.....	49
Н. Ж. Нышанова .....	50
О. О. Олейникова .....	51
И. В. Осинных .....	52
М. Ю. Пермьякова, С. В. Обухов.....	53
С. А. Подорожник, В. И. Устинов, Д. Ш. Каландаров .....	54
П. А. Половодов .....	55
О. Ю. Попова, Н. В. Морозова, В. В. Щенников .....	56
С. В. Постолова, А. Ю. Миронов, Т. И. Батурина .....	57
М. С. Рахимова, О. С. Букина, А. С. Батырханов .....	58
У. Х. Рахмонов .....	59
О. Л. Роденко, А. В. Мошкина .....	60
В. Г. Дю, О. А. Русякина, Т. Г. Матвиенко, В. В. Попугаева, А. С. Акрестина .....	61
А. Г. Рябищенкова, И. П. Русинов, М. М. Отроков, Е. В. Чулков .....	62
М. Л. Савченко .....	63
А. А. Сапожник .....	64
М. В. Сержантова .....	65
Ю. В. Сокольницкая, Т. В. Меньщикова, Е. В. Чулков .....	66
В. Г. Стельмах .....	67
И. С. Стрыгин .....	68
А. Р. Туктамышев .....	69
С. И. Филиппов.....	70
Т. О. Фирсова.....	71
М. М. Хашаев .....	72
Е. С. Худякова, А. Н. Гребенчуков.....	73
С. А. Чуркин .....	74
К. В. Шаповалов .....	75
К. О. Шарифулин .....	76
С. С. Шмаков, О. С. Сюваева .....	77
М. Г. Усатова .....	78
М. М. Халяпкин.....	79
Т. У. Тошбоев, З. Норов.....	80

**РАДИОФИЗИКА.....81**

Д. В. Крутин, А. А. Корнилов .....	81
В. П. Болбуков .....	82
В. О. Бородин.....	83
А. А. Корсаков, У. В. Ноговицына, П. Е. Васильев .....	84
А. Мирманов.....	85
А. А. Тимофеев.....	86
Ю. А. Титченко, В. Ю. Караев, М. Б. Каневский, Е. М. Мешков, М. А. Панфилова .....	87
Е. И. Шорников .....	88
А. Н. Абрамцев .....	89
Ю. С. Актёршев .....	90
А. А. Богомолов.....	91
Н. Д. Бухал .....	92
Р. В. Вахрушев.....	93
Д. Л. Военнов.....	94
А. А. Голицын, Н. А. Сейфи.....	95
А. Ю. Грабовский, А. С. Мустафаев.....	96
Л. Н. Дворецкая .....	97
Д. А. Зверев.....	98
А. В. Зорин.....	99
Е. К. Мегис, А. А. Шингаркина, А. А. Власова .....	100
В. В. Козлов .....	101
Д. В. Кудин, Е. О. Учайкин .....	102
М. А. Лаврухин.....	103
И. Д. Маркова .....	104
С. И. Оненко .....	105
В. С. Прощенко.....	106
К. А. Свиридов .....	107
Н. Н. Семенов .....	108
И. И. Тихонюк .....	109
Б. А. Числов .....	110
В. В. Шаврин, А. С. Конаков.....	111

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА.....112**

К. В. Супрунчик .....	112
А. Ю. Давыдова .....	113
С. А. Анохин .....	114
И. П. Васильев, А. М. Лопатько.....	115
С. Е. Гаязов .....	116
Д. А. Глинянов.....	117
П. В. Глотов .....	118

Е. М. Громов .....	119
Д. В. Кудин, Е. О. Учайкин .....	120
А. М. Медведев.....	121
С. О. Семенов .....	122
А. А. Стельвага .....	123
В. П. Ташлыков .....	124
А. А. Юхненко .....	125
Д. И. Соллогуб.....	126

МАТЕРИАЛЫ  
50-Й ЮБИЛЕЙНОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«Студент и научно-технический прогресс»

ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

*Материалы конференции публикуются в авторской редакции*

*Дизайн обложки – Студия дизайна Вадима Гончарова  
(<http://vadimdesign.ru>)*

---

Подписано в печать 04.04.2012 г.

Офсетная печать

Заказ № \_\_\_\_\_

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 6,4. Усл. печ. л. 8,2.

Тираж 190 экз.

---

Редакционно-издательский центр НГУ  
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2