Сорник цезисов

VI-й Всероссийской конференции молодых ученых «Микро-, нанотехнологии и их применение» им. Ю.В. Дубровского

При поддержке: ИПТМ РАН РФФИ грант № 14-32-10271 ОАО НИИМЭ и МИКРОН ФФКЭ МФТИ (НИУ)

> 24-27 ноября 2014 Черноголовка

Микро-, нанотехнологии и их применение 2014

Программа

24-е ноября 2014 г

9.00 Начало регистрации участников.

10.00 — 12.00 Секция приглашенных докладов.

- «Наноструктурированный графен на поверхности кубического карбида кремния SiC(001)» <u>А.Н. Чайка</u>, О. Молодцова, А. Варыхалов, Д. Марченко, J. Sánchez-Barriga, Р. Mandal, А. Захаров, Yukan Niu, С.В. Бабенков, М. Portail, М. Zielinski, В.Е. Murphy, И.В. Швец, В.Ю. Аристов, ИФТТ РАН, Черноголовка. (30 мин + 10 мин обсуждение).
- (Тема уточняется) <u>А. Соболев</u>, ИРЭ РАН, Москва (30 мин + 10 мин обсуждение).
- «Мультимасштабные фотонные структуры». <u>С.В.</u>
 <u>Жуковский</u>, DTU-Fotonik, Lyngby, Denmark. (30 мин + 10 мин обсуждение).
- 12.00 14.00 Обеденный перерыв.
- 14.00 15.30 Секция «Микро- и нанотехнологии»
 - «Пассивация поверхности InAs(111)А при анодном окислении во фторсодержащих средах» <u>М.С. Аксенов</u>, Н.А. Валишева, Т.А. Левцова, А.Ю. Широков, В.А. Голяшов, С.Е. Хандархаева, О.Е. Терещенко.
 - «Обнаружение паров этанола с помощью графеноподобных пленок». <u>Седловец Д.М.</u>, Редькин А.Н.
 - 3. «Синтез гибридных структур ZnO-MgO». <u>М.В. Рыжова</u>, Е.Е. Якимов, А.Н. Редькин.

Микро-, нанотехнологии и их применение 2014

 «Включение флуоресцентных красителей различного типа в состав оболочек полиэлектролитных капсул методом последовательной адсорбции». <u>И.В. Марченко</u>, Т.В. Букреева.

15.30 — 16.00 Перерыв на кофе и чай.

16.00 — 18.00 Секция «Сверхпроводниковые микро- и

наноструктуры».

- «Джозефсоновские переходы с нанонитями в качестве слабой связи». <u>Скрябина О.В.</u>, Егоров С.В., Гончарова А.С., Напольский К.С., Батов И.Е., Рязанов В.В., Столяров В.С.
- «Сверхпроводниковый NbN приёмник терагерцового излучения на основе криогенного рефрижератора замкнутого цикла». <u>Васяков А.А.</u>, Пентин И.В., Вахтомин Ю.Б., Смирнов К.В.
- «Исследование SSPD приемника, оптимизированного под работу в диапазоне длин волн от 700 до 1200 нм».
 <u>Ф.И. Золотов</u>, Ю.Б. Вахтомин, А.В. Дивочий, В.А. Селезнев, К.В. Смирнов.
- 4. «Многоэлементные SSPD детекторы». <u>Э.Р. Хан</u>, А.В. Дивочий, В.А. Селезнев, К.В. Смирнов.

18.30 — 21.00 Культурная программа. Концерт группы «Алоэ» http://aloeband.narod.ru/

25-е ноября 2014 г

- 10.00 12.00 Секция приглашенных докладов.
- 1. «Дробовой шум и электрон-электронные корреляции в

мезоскопических полупроводниковых структурах». <u>Е.С. Тихонов</u>, В.С. Храпай, Д.В.Шовкун. ИФТТ РАН, г. Черноголовка, МФТИ, г. Долгопрудный. (30 мин + 10 мин обсуждение).

- «Использование квантовых эффектов для подавления туннелирования в полупроводниковых нанотранзисторах» <u>Попов В.Г.</u>, ИПТМ РАН, Черноголовка, МФТИ Долгопрудный. (30 мин + 10 мин обсуждение).
- «Эпитаксиальный рост квантовых точек в системе материалов InGaAlAsP/InP, излучающих в диапазоне длин волн 1,55 мкм, и их применение в качестве активной области для нанолазеров » <u>E.</u> <u>Семенова</u>, DTU-Fotonik, Lyngby, Denmark. (30 мин + 10 мин обсуждение).
- 12.00 14.00 Обеденный перерыв.
- 14.00 15.30 Секция «Микро- и наноприборы»
 - «Спиновый фильтр на основе открытой системы с квантовой точкой». <u>Г.Г. Исупова</u>, А.И. Малышев.
 - «Исследование перспективной технологии и конструкций микросхем высокочастотных импульсных преобразователей напряжения с частотой переключения силового ключа свыше 10 МГц». <u>Силаев А.А.</u>
 - «Спектроскопия точечного контакта Кондо-металла в спинполяронном подходе» Д.М. Дзебисашвили, <u>С.В. Аксенов</u>.
 - «Магнитоупругое и обменное взаимодействия в устройствах магниторезистивной памяти нового поколения». <u>Д.Л. Винокуров.</u>
- 15.30 16.00 Перерыв на кофе и чай.
- 16.00 18.00 Секция «Физика микро-, наноструктур».
 - 1. «Создание спиновой поляризации в двумерной электронной

системе со спин-орбитальным взаимодействием при помощи электрического поля и ее детектирование ферромагнитными контактами». <u>А.А. Кононов</u>, С.В. Егоров, G. Biasiol, L. Sorba, и Э.В. Девятов.

- «Измерение транспортных свойств Bi₂Te₂Se: квазидвумерные носители заряда». <u>Капустин А.А.</u>
- 3. «Квантово-химические расчеты малых кремниевокислородных кластеров». <u>И.В.Матюшкин</u>, Н.В.Евстратов.

18.30 — 21.00 Культурная программа. Концерт Олега Автономова, группа «Тихая авиация» <u>http://vk.com/event80349807</u>, https://www.facebook.com/events/466074766863536

26-е ноября 2014 г

9.00 Выезд в МФТИ. Посещение конференции МФТИ.

11.00 - 13.00 Секция приглашенных докладов.

- «Измерение энтропии в двумерных системах» <u>А.Ю.</u> <u>Кунцевич</u>, ФИАН, Москва. (30 мин + 10 мин обсуждение).
- «Туннельные полевые транзисторы на основе графена».
 <u>Д. Свинцов</u>, Г. Алымов, В. Вьюрков, В. Рыжий, Т. Otsuji, ФТИ РАН, Москва, МФТИ Долгопрудный. (30 мин + 10 мин обсуждение).
- «Электрохимические интегральные микросхемы, технология и применение» <u>В.Г. Криштоп</u>. МФТИ Долгопрудный (30 мин + 10 мин обсуждение).

13.00 - 14.00 Обед.

14.00 – 16.00 Секция «Микро- и наноприборы и технологии»

- «Сегнетоэлектрические свойства тонких пленок Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂, выращенных методом атомно-слоевого осаждения». <u>А.Г. Черникова</u>, М.Г. Козодаев, А.М. Маркеев, А.В. Заблоцкий.
- «Элементы энергонезависимой памяти ReRAM на основе функционального слоя из оксида тантала». <u>Киселёва И.В.</u>, Шадрин А.В., Заблоцкий А.В., Киртаев Р.В., Зайцев С.А.
- «Резистивное переключение в МИМ-структурах, полностью выращенных атомно-слоевым осаждением». <u>К.В.Егоров</u>, А.М. Маркеев, Р.В. Киртаев, О.М. Орлов, Ю.Ю. Лебединский, А.В. Заблоцкий.
- «Эффект переключения электрической проводимости в структурах металл-диэлектрик-металл на основе нестехиометрического оксида кремния» <u>П.С. Захаров</u>, А.Г. Итальянцев.

16.00- 18.00. Культурная программа. Концерт Юлии Теуниковой. http://www.teunikova.ru/

27-е ноября 2014 г

10.00 — 12.00 Секция приглашенных докладов.

- «Обнаружение нового слабо затухающего плазменного возбуждения в двумерной электронной системе» В.М. Муравьёв, <u>П.А. Гусихин</u>, И.В. Кукушкин ИФТТ РАН, Черноголовка (30 мин + 10 мин обсуждение)..
- 2. «Длинноволновая фотолюминесценция и перспективы создания лазеров в CdHgTe структурах» <u>Морозов С.В</u>. ИФМ

Микро-, нанотехнологии и их применение 2014

РАН, Нижний Новгород. (30 мин + 10 мин обсуждение).

12.00 — 14.00 Обеденный перерыв.

14.00 — 15.30 Секция «Технология и приборы» (планируется

заслушать 5 устных докладов по 15 минут + 5 минут обсуждение)

- «Метод поиска изобар адсорбции углеродных соединений выбранных для криогенного травления пористых low-k диэлектриков». <u>А.А. Резванов</u>, К.П. Могильников, О.П. Гущин.
- 2. «Математическая модель ячейки энергонезависимой FLOTOX памяти». <u>Д.Д. Воронов</u>, О.М. Орлов.
- «Принципы функционирования элементов энергонезависимой памяти с запоминающей средой на основе нитрида кремния». <u>Измайлов Р.А.</u>, Орлов О.М.

15.30 — 16.00 Перерыв на кофе и чай.

16.00 — 18.00 *Секция «Локальные методы»* (планируется заслушать 5 устных докладов по 15 минут + 5 минут обсуждение).

- «Релаксация напряжений в светоизлучающих структурах InGaN/GaN при облучении низкоэнергетичным электронным пучком». <u>Вергелес П.С.</u>
- «Эффект агломерации и хаотическая динамика в клеточноавтоматных моделях кинетики на поверхности микросферы» И.В. Матюшкин, <u>Р.Р. Вильданов</u>, С.В. Коробов

18.30 — 21.00 Культурная программа. Концерт группы «Выход» http://www.vyhod.info/

21.00 – 22.00 Закрытие конференции.

Микро- и нанотехнологии

Пассивация поверхности InAs(111)А при анодном окислении во фторсодержащих средах

<u>М.С. Аксенов</u>¹, Н.А. Валишева¹, Т.А. Левцова¹, А.Ю. Широков², В.А. Голяшов¹, С.Е. Хандархаева², О.Е. Терещенко^{1,2}

¹ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск.

институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосиоирск. ² Новосибирский национальный исследовательский государственный

рский национальный исследовательский государственны

университет, Новосибирск.

Благодаря прямозонной структуре, малой ширине запрещенной зоны, высокой подвижности электронов и наличию собственного 2D электронного газа вблизи границы раздела с диэлектриками InAs является перспективным материалом с точки зрения приборных применений. Особый интерес представляют металл-диэлектрикполупроводник (МДП) структуры на основе InAs, которые применяются в полевых и спиновых транзисторах, а так же приемниках инфракрасного излучения.

В отличие от кремния, собственный оксидный слой сложного состава на поверхности InAs, также как и на поверхности других полупроводников A₃B₅, не обеспечивает высокое качество границы раздела диэлектрик/InAs. По этой причине пассивация поверхности становится чрезвычайно важным процессом при изготовлении приборов на основе полупроводников типа A₃B₅.

Для создания качественной границы диэлектрик/InAs были исследованы различные химические обработки, пассивирующие покрытия и диэлектрические слои (Ge, Gd₂O₃, LaLuO₃, Al₂O₃, HfO₂ и другие). Достигнуты плотности поверхностных состояний (D_{it}) ~(2-5)×10¹¹ эB⁻¹см⁻².

Альтернативным способом пассивации поверхности InAs является контролируемый рост анодных оксидных слоев (AOC) в жидких и газообразных фторсодержащих средах.

Проведенные ранее исследования показали [1], что при анодном окислении InAs(111)А в гальваностатическом режиме в кислотном электролите, содержащем NH₄F (источник F ионов), резко изменяется состав АОС: кислород замещается фтором с образованием оксифторидов индия и мышьяка по всему объему АОС. Это, как следует из ВФХ, сопровождается уменьшением встроенного заряда (Q_{fix}) и D_{it}. (Рис.1а, кривая 1). При больших концентрация NH₄F (15 г/л) образуется хорошо упорядоченная бескислородная граница

раздела $InF_v(x\sim3)/InAs(111)A$, которая характеризуется наименьшей D_{tt} -4×10^{10} эВ⁻¹см⁻² (Рис. 1а, кривая 2). Полученные энергетические спектры D_{it} в запрешенной зоне InAs (Рис. 1b) хорошо соотносятся с моделью дефектов границы раздела собственный оксид/АзВ [2].

Однако, окисление в жидких средах имеет ряд недостатков, которые могут быть причиной величиной характеризующихся захваченного (ΔO) , заряда И остаточного встроенного заряда: (i) в присутствуют нежелательные AOC примеси и подвижные ионы, входящие в состав электролита, (ii) невозможно получить однородные по площади и составу пленки толщиной <10нм.

В ланной работе обсуждаются результаты исследования метода «сухого» анодного окисления в таунсендовской газоразрядной плазме особо чистых газов (Ar, O₂, CF₄) как способа пассивации поверхности InAs, когда в процессе окисления участвуют лишь необходимые для формирования АОС ионы кислорода и фтора.

Показано. что метод позволяет вырашивать однородные пленки толщиной 5-100 нм при окислении ионами с низкими энергиями (< 1эВ). При этом по данным АСМ и ПЭМ измерений не изменяется морфология поверхности InAs. Изучение влияния состава АОС на электрофизические параметры (D_{it}, ΔO) Au/AOC/InAs МДП-структур с толщиной АОС 5-15 нм показали, что, также как и при окислении в жидких средах, замещение гистерезисных явлений.



Рис.1 (а) Концентрационные зависимости плотности ПС (1) и встроенного заряда (2) Au/AOC/InAs(111)A МОПструктур. d=14.5 нм. T=77K, f=16кГц. (b) Распределение D_{it} в запрещенной зоне InAs.(c) Модель поверхностных состояний границы собственный раздела оксид/InAs [2].

кислорода фторов приводит к снижению D_{it} на границе раздела AOC/InAs. При оптимальном соотношении F/O достигнута $D_{it} < 10^{11}$ эВ 1 см⁻². При этом величина гистерезиса уменьшается в 2 раза: $\Delta O \sim 5 \cdot 10^{-8}$ $K_{\rm Л}/{\rm сm}^2$ при поле в AOC 2·10⁶ B/см.

- 1. N.A Valisheva, M.S. Aksenov et al. Appl. Phys. Lett. 105, 161601 (2014).
- 2. J. Robertson. Appl. Phys. Lett., 94, 152104 (2009).

Метод поиска изобар адсорбции углеродных соединений выбранных для криогенного травления пористых low-k диэлектриков

<u>А.А. Резванов</u>^{1,2}, К.П. Могильников³, О.П. Гущин² ¹Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный

²НИИ молекулярной электроники, Москва, Зеленоград

³Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова, Новосибирск

. В микроэлектронной технологии в настоящее время осваивается возможность внедрения low-k материалов с диэлектрической постоянной меньше, чем 2.5 для суб-10 нм технологических норм. Однако их внедрение встречает значительные трудности, так как пористые low-k диэлектрики деградируют в процессах плазменной обработки. Активные частицы плазмы диффундируют в поры и изменяют структуру стенки пор[1]. Недавно изобретенный метод криогенного травления, позволяет защитить стенки пор low-k диэлектрика от значительного повреждения их в процессе плазменного травления. Когда травление происходит при низких температурах, реагенты и продукты травления конденсируются в порах и защищают их от проникновения активных радикалов плазмы[2]. Важной проблемой является разработка стандартного подхода для подбора химических реагентов, способных конденсироваться и работать при заданных температурах. В данной работе представлен теоретический анализ конденсации выбранных газов при низкой температуре. Нами разработан предварительный метод, позволяющий пересчитать изотерму адсорбции толуола при комнатной температуре в изобару адсорбции выбранных химических соединений. Этот метод был применен для C_6F_6 , C_4F_8 для температур в диапазоне от (-20°C) до (-70°С) при нескольких постоянных давлениях. Расчетные данные для давлений 100мТорр и 10мТорр были сравнены с экспериментальными. Мы обнаружили сходство между расчетными и экспериментальными результатами и показали, что данный метод позволяет быстро и качественно получить изобары адсорбции выбранных газов до проведения эксперимента по травлению.

- Shamiryan D., Baklanov M., Vanhaelemeersch S., Maex K.// J. Vac. Sci. Technol. B. 2002. V. 20. № 5. P. 1923.
- 2. Michail R.Baklanov Materials for Advanced Interconnects (status and strategy) FIRST MOSCOW SEMINAR ON NANOELECTRONICS, 04.02.2014.

Обнаружение паров этанола с помощью графеноподобных пленок.

<u>Седловец Л.М.</u>, Редькин А.Н. Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН, г. Черноголовка

Недавнее открытие графена придало новый импульс исследованиям в области углеродных наноматериалов. Интерес исследователей направлен не только на изучение монослоя графена - многослойные графеноподобные пленки также представляют ценность для различных практических приложений. В частности, в последнее время активное распространение получило применение таких пленок в качестве газовых сенсоров. В литературе описаны различные принципы работы подобных устройств [1], и самый распространенный ИЗ них основан на изменении электрического сопротивления пленок при их взаимодействии с различными газами [2]. Газовые сенсоры, работающие по данному принципу, дегки в изготовлении и позволяют проводить измерения напрямую. Однако, главный недостаток таких устройств состоит в их неселективности. В рамках данной работы показано, что наши пленки обладают избирательной чувствительностью к парам спирта. К тому же, ранее не проводились систематические исследования взаимосвязи межлу условиями синтеза пленок и их сенсорными свойствами.

На данный момент нами разработана простая, технологичная (экономически выгодная и экологически безопасная) методика получения графеноподобных пленок из паров водно-спиртовых смесей как на поверхности медной фольги, так и на диэлектрических подложках. К тому же, размер получаемых пленок ограничен лишь объемом реактора. Мы предлагаем изучать сенсорные свойства пленок, сопоставляя их с условиями синтеза и дальнейшей обработкой (УФ-облучение, отжиг, химическое воздействие) с целью подобрать оптимальные условия роста пленок, обладающих наилучшими сенсорными характеристиками.

Графеноподобные пленки, полученные таким образом, обладают пренебрежимо малой чувствительностью (около 1% или менее) ко всем газам, за исключением паров этанола. В основном, пленки, полученные на поверхности кварца, сильнее реагируют на присутствие спирта, нежели пленки, синтезированные на медной фольге. По-видимому, это объясняется неизбежными повреждениями пленок при переносе с поверхности металла на диэлектрик.

- 1. Sensors and Actuators B, 2012, v. 173, pp. 1-21.
- 2. Nature Material, 2007, v. 6, pp. 652-655.

Синтез гибридных структур ZnO-MgO

<u>М.В. Рыжова</u>, Е.Е. Якимов, А.Н. Редькин ИПТМ РАН, 142432, г. Черноголовка, Московская обл., Академика Осипьяна ул., 6, +7(49652)44274

Оксид цинка привлекает большое внимание исследователей как перспективный материал для оптоэлектронных приборов. Он обладает большой шириной запрещенной зоны (3,37эВ, при 300К [1]) и высокой энергией связи экситона (60 мэВ [1]) в кристалле, что позволяет получить экситонную эмиссию в УФ диапазоне при комнатной температуре. Исследования широкозонных материалов и

формирование гетероструктур на их основе получили в последнее время достаточно широкое распространение. Допирование оксида пинка магнием позволяет изменять ширину запрещенной зоны[2,3] и, таким образом, управлять оптическими и электрофизическими свойствами. Модификации и



Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения упорядоченных массивов наностержней ZnO (А) и гибридных структур ZnO/MgO с разной степенью заполнения MgO (D D)

существенного улучшения полезных свойств оксида цинка можно также достичь путем создания гибридных структур, объединяющих разные фазы оксидов цинка и магния. Это могут быть структуры типа «ядро-оболочка» [4,5], либо массивы нанопроволок ZnO, покрытые сплошной пленкой MgO (ZnMgO) [6]. Обычно синтез таких структур проводят в несколько этапов, используя различные методы осаждения. В данной работе были получены гибридные структуры на основе оксида цинка, выращенные методом газофазного синтеза при пониженном давлении [7], на подложках Si(100) в один этап. Согласно данным химического анализа слои, выращенные на подложках из кремния или стекла, содержат в своем составе цинк и магний. Общее содержание магния может составлять от 20 до 60 ат.% (по отношению к суммарному содержанию металлов) в зависимости от положения подложки в реакторе, исходного соотношения металлов, а

также продолжительности синтеза. То что, основой структуры полученных слоев являются упорядоченные массивы наностержней оксида цинка, подтверждается данными рентгеновской дифракции, КР спектроскопии и катодолюминесценции. На дифрактограмме депозита присутствуют рефлексы, относящиеся к вюрцитной структуре ZnO и кубической структуре MgO.

Полученные таким образом гибридные структуры, объединяющие различные фазы, могут найти применение в фотонике, сенсорной технике и других областях.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (проекты 12-02-31075)

Список литературы

[1] U. Ozgur, Y.I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M.A. Reshchikov, S. Dogan, V. Avrutin, S.-J. Cho, H. Morkoc, A comprehensive review of ZnO materials and devices, Journal of Applied Physics. 98 (2005) 041301.

[2] H. Nishinaka, Y. Kamada, N. Kameyama, S. Fujita. Growth characteristics of single-crystalline ZnMgO layers by ultrasonic spray assisted mist CVD techni- que. PhysStatusSolidiB 2010;247:1460–3.

[3] T.H. Kim, J.J. Park, S.H. Nam, H.S. Park. Fabrication of Mg-doped ZnO thin films by laser ablation of Zn:Mg target. ApplSurfSci 2009; 255:5264–6.

[4] Y. Wu, W. Wu, X.M. Zou, L. Xu, J.C. Li. Growth and great UV emission improvement of highly crystalline quality core–shell ZnO/MgO nanowires. MaterLett 2012; 84:147–50.

[5] Y.H. Wang, W.J. Duan, Z.L. Wu, D. Zheng, X.W. Zhou, B.Y. Zhou, et al. Enormous enhancement of ZnO nanorod photoluminescence. JLumin2012; 132:1885–9.

[6] J.P. Kar, M.C. Jeong, W.K. Lee, J.M. Myoung. Fabrication and characterization of vertically aligned ZnMgO/ZnO nanowire arrays. MaterSciEngB 2008;147:74–8.

[7] Red'kin A,MakoveiZ,GruzintsevA,DubonosS,YakimovE.Vaporphase synthesis ofalignedZnOnanorodarraysfromelements.Inorg.Mater 2007;43:253–7.

Включение флуоресцентных красителей различного типа в состав оболочек полиэлектролитных капсул методом последовательной адсорбции

<u>И.В. Марченко</u>^{1,2} Т.В. Букреева^{1,2} ¹НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва ²Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, г. Москва

Полиэлектролитные микрокапсулы, получаемые последовательной адсорбцией противоположно заряженных полиэлектролитов на коллоидные частицы, могут найти применение для доставки лекарственных веществ и их контролируемого высвобождения в нужном месте организма, например, при помощи воздействия излучения. Одним ИЗ способов обеспечения лазерного чувствительности к лазерному излучению является включение в состав оболочек капсул молекул красителей.

Проведена модификация оболочек полиэлектролитных капсул флуоресцентными красителями родамином 6Ж, метиловым фиолетовым, индиго и индигокармином за счет адсорбции на полиэлектролитные слои. Модифицированные красителями оболочки капсул исследованы методом конфокальной флуоресцентной лазерной сканирующей микроскопии, спектрофотометрии и с помощью измерения дзета-потенциала системы.

Проведено эффективное включение флуоресцентных красителей различного типа в оболочку полиэлектролитных капсул, состоящую из полистиролсульфоната качестве полианиона в И различных поликатионов: полиаллиламина. полидиаллилдиметиламмония И Проведено сравнение количества включенных полиэтиленимина. красителей для оболочек, полученных с использованием разных поликатионов. Показано, что индиго включается в оболочки микрокапсул в виде кристаллитов субмикронного размера, а три остальных красителя равномерно распределяются по полимерной оболочке. Этот результат важен для планируемых дальнейших исследований воздействия лазерного излучения на модифицированные полиэлектролитные оболочки с целью их дистанционного разрушения и высвобождения закапсулированного материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 14-03-00979а

Сегнетоэлектрические свойства тонких пленок Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂, выращенных методом атомно-слоевого осаждения

<u>А.Г. Черникова</u>, М.Г. Козодаев, А.М. Маркеев, А.В. Заблоцкий Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская область

Традиционная память на классических принципах близка к насыщению в своем развитии, прежде всего из-за проблем с ее дальнейшим масштабированием, ростом емкости И производительности. Одной из растушего числа альтернативных технологий стала так называемая FeRAM - память на основе сегнетоэлектричества, основным функциональным слоем которой является слой сегнетоэлектрика. Однако применение хорошо известных сегнетоэлектрических материалов со структурой перовскит в устройствах данного вида памяти осложнено их термодинамической нестабильностью и малым смещением ширины запрещенной зоны по отношению к кремнию. В то же время, совсем недавно была продемонстрирована возможность получения сегнетоэлектричества в тонких слоях на основе оксида гафния, который долгое время считался параэлектрическим материалом [1]. Последний зарекомендовал себя с точки зрения термодинамической стабильности и совместимостью с тралиционными операциями кремниевой технологии. благодаря чему активно используется в широком спектре приложений микроэлектроники и является хорошей альтернативой традиционным сегнетоэлектрикам.

В данной работе производился рост тонких пленок $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ методом атомно-слоевого осаждения, а также было произведено исследование их химических, структурных и электрофизических свойств в зависимости от толщины и условий дальнейшей термической обработки. В результате была продемонстрирована возможность стабилизации орторомбической фазы, ответственной за возникновение сегнетоэлектричества в данных пленках в широком диапазоне толщины, а также перспективные электрофизические характеристики структур на их основе, а именно остаточная поляризация до ~ 15мкКл/см², коэрцитивное поле ~ 1-1.5 MB/см, количество циклов переключения ~ 10^6 .

1. T.S Boscke, J. Muller, D. Brauhaus, U. Schoder, U. Bottger. Appl. Phys. Lett., **99**, 102903 (2011).

Полупроводниковые микро- и наноприборы

Мультимасштабные фотонные структуры

<u>С. В. Жуковский 1,2</u>

¹DTU Fotonik, Technical University of Denmark, Lyngby, Дания ²Университет ИТМО, Санкт-Петербург

Бурное развитие оптики микро- и наноструктур в последние годы ознаменовалось зарождением двух фундаментальных концепций. Одна из них – фотонные кристаллы [1]: структуры, где размеры элементов a сравнимы с длиной световой волны λ , из-за чего свет определенных частот не может распространяться за счет возникновения фотонной запрещенной зоны (ФЗЗ). Вторая – метаматериалы [2]: структуры, в которых a во много раз меньше λ , в результате чего материал приобретает оптические свойства, отсутствующие либо крайне редкие в природе (например, отрицательный показатель преломления). Долгое время считалось, что эти концепции охватывают не пересекающиеся области размеров элементов и связаны с различными эффектами, вследствие чего нуждаются в раздельном рассмотрении (рис. 1a).

Тем не менее, фотонная структура может объединять в себе обе концепции, сочетая элементы размерами порядка λ и много меньше λ . Подобные *мультимасштабные* структуры сочетают эффекты ФЗЗ с экзотическими оптическими свойствами, в силу чего их можно применять в оптических приборах с новыми возможностями.

Одним из примеров таких структур являются мультимасштабные гиперболические метаматериалы (рис. 16). Один уровень структурной организации в таких материалах представлен сверхтонкими (5–50 нм) чередующимися металлическими и диэлектрическими слоями, что обеспечивает экстремальную анизотропию: компоненты эффективного тензора диэлектрической проницаемости є имеют разные знаки ($\varepsilon_{xy} < 0$, $\varepsilon_z > 0$). Это влечет за собой существование решений дисперсионного уравнения (распространяющихся волн) с аномально большими значениями волнового вектора – блоховских объемных плазмонполяритонов [3]. Второй уровень структурной организации состоит в модуляции параметров слоистой структуры с периодом порядка длины волны, что позволяет избирательно управлять распространением этих поляритонов [4] и может применяться в устройствах передачи изображения с превышением дифракционного предела (гиперлинзах).

В других примерах, показанных на рис. 1*в-г*, мультимасштабность реализована иначе: функциональные элементы субволновых размеров (наночастицы либо перфорации определенной формы) сочетаются с

объединением их в двумерную решетку с периодом порядка длины волны. В результате свойства метаматериала, обусловленные формой элементов, усиливаются за счет дифракционных эффектов решетки. У металлических наночастиц на поверхности полупроводника (рис. 16) это приводит к возрастанию добротности плазмонного резонанса и, как следствие, к усилению всех фотоэлектрических процессов [5]. У перфорированных металлических экранов (рис. 1г) это приводит к увеличению оптического пропускания вплоть до 50% (при суммарной площади перфораций менее 5%) за счет эффектов аномального оптического прохождения. результате можно реализовать В тонкопленочный элемент, преобразующий линейно поляризованную волну в терагерцевом диапазоне в волну с круговой поляризацией [6]. Тот же эффект может быть достигнут и в более простой мембране (рис. 1 ∂), представляющей собой набор прямых либо крестообразных щелей в субдифракционном режиме, в котором длина волны λ превышает период решетки а всего в 1-2 раза; такая структура является промежуточной между режимом метаматериалов и фотонных кристаллов. и в этом смысле также является мультимасштабной.



Рис. 1. Концепция (*a*) и примеры (*б*-*д*) мультимасштабных фотонных структур: *б* – гиперболические метаматериалы с двумя уровнями структурирования; *в* – ансамбли металлических наночастиц на поверхности полупроводника; *г*,*д* – перфорированные мембраны для преобразования поляризации ТГц излучения.

- 1. D. J. Norris. Nature Materials, 6, №3, 177 (2007).
- 2. V. Shalaev. Nature Photonics, 1, №1, 41 (2007).
- 3. S. V. Zhukovsky, O. Kidwai, J. Sipe. Optics Express, **21**, №12, 14982 (2014).
- 4. S. V. Zhukovsky и др. Physical Review A, 90, №1, 013801 (2014).
- 5. S. V. Zhukovsky и др. Plasmonics, 9, №2, 283 (2014).
- 6. M. Zalkovskij и др. Lasers & Photonics Reviews, 7, №5, 810 (2013).

Длинноволновая фотолюминесценция и перспективы создания лазеров в CdHgTe структурах

Морозов С.В.^{1,2}

¹Институт физики микроструктур РАН, 603950, Н.Новгород ²Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 603950, Н.Новгород

Известно, что HgTe является бесщелевым полупроводником благодаря этому свойству в твердом растворе на основе HgTe и CdTe можно получить произвольную ширину запрещенной зоны от 0 до 1.6 эВ. Одной из важных задач является исследование возможностей создания излучателей TГц диапазона на основе таких структур. В твердых растворах Hg_{1-x}Cd_xTe исследования фотолюминесценции (ФЛ) в среднем ИК диапазоне проводилось во множестве работ. Для узкозонных составов Hg_{1-x}Cd_xTe таких работ практически.В ходе проведенных исследований в гетероструктурах с KЯ HgTe/CdTe при высоком уровне накачке кроме линии ФЛ от KЯ Hg_{1-x}Cd_xTe в области

800 - 1000 см⁻¹ были обнаружены две дополнительных полосы в области 5000 см⁻¹ и 3000 см⁻¹ (рис. 1). Линия в области 5000 см-1 связана с ФЛ из широкозонных барьерных слоев Cd_xHg₁. _хТе. Что касается полосы в области 3000 см⁻¹, то наш взгляд она связана с переходами ИЗ континуума зоны проводимости барьеров (или электронного уровня в КЯ) на примесные



центры акцепторного типа роль которых, скорее всего, играют вакансии ртути. Интригующим оказался результат наблюдения на фоне широкой примесной полосы (в области 3000 см⁻¹) узкой, с шириной около 20 см⁻¹, линии ФЛ при 18К (рис.1). Возникновение такой узкой линии, которая не проявляется при высоких температурах, может быть обусловлено стимулированным излучением на примеснозонном переходе. Кроме спектральных особенностей интересным оказался результат исследования кинетик релаксации ФЛ для этих трех линий. Исследования показали, что в начальный момент времени (t=2 мкс) преобладающим является сигнал ФЛ от барьерных слоев в области 5000 см⁻¹, однако уже при t=6 мкс наблюдается существенное vменьшение сигнала ФЛ от барьерных слоев, который при t=12 мкс становится сравнимым с уровнем шума. В тоже время сигнал межзонной ФЛ от КЯ (~ 800-1000 см⁻¹), как и примесной ФЛ (~ 3000 см⁻¹) хорошо заметен и при t=12 мкс. Как и следовало ожидать в более широкозонных барьерах время излучательной рекомбинации существенно меньше, чем в более узкозонной КЯ.Однако, в процессе релаксации носителей участвуют не только излучательные процессы, но и оже-рекомбинация и рекомбинация через примесные/дефектные центры. При изменении ширины запрещенной зоны зависимости скоростей оже- и примесной/дефектной рекомбинаций обратны



Рис. 2. Спектры ФЛ КРТ объемной структуры №120613 при импульсном возбуждении для различной мощности накачки (T=100K).

зависимости скорости излучательной рекомбинации. В частности, известно, что скорость оже рекомбинации растет с уменьшением ширины запрешенной зоны за счет уменьшения отношения эффективных масс электронов И дырок.

В нашем случае, в более узкозонной (по сравнению с барьерными слоями) КЯ, скорость оже - рекомбинации должна быть существенно выше, чем в барьерных слоях. Мы же наблюдаем противоположную картину, что указывает на основной вклал излучательной рекомбинации. как в барьерах слоях так и в КЯ. Одной из работы важных залач является исследование возможностей созлания излучателей ТГц диапазона на основе таких структур. Большая часть образцов не имела лазерного дизайна. Однако проведенные расчеты показали наличие

хорошей локализации ТЕ моды для нескольких структур. Для одной из них был выполнен цикл исследований ФЛ в конфигурации наблюдение сигнала с торца образца при импульсном возбуждении при различном уровне накачки. В результате проведенных экспериментов было обнаружено обужение линии межзонной ФЛ от активного слоя в области ~ 9 мкм (рис. 2).

Использование квантовых эффектов для подавления туннелирования в полупроводниковых нанотранзисторах.

<u>В.Г. Попов</u>^{1,2}

¹Институт проблем технологии микроэлектроники РАН, Черноголовка, Московская обл. ²Факультет физической и квантовой электроники, Московский физико-

технический институт, Долгопрудный, Московская обл.

На современном этапе развития полевых транзисторов все большее внимание уделяется уменьшению токов утечки канал-затвор. Основными причинами этому является стремление к уменьшению энергопотребления цифровых устройств в связи с бурным мобильных устройств. способов распространением Одним ИЗ уменьшения утечки является уменьшение токов запирающего напряжения затвор-сток, которое достигается использованием high-k диэлектриков с большой диэлектрической проницаемостью. Кроме того увеличение диэлектрической проницаемости приволит к повышению граничной частоты транзистора. В данной работе я предлагаю альтернативные способы уменьшения тока утечки, связанного с туннелированием из канала транзистора в затвор. В основе этих методов лежат квантовые эффекты, а именно эффект размерного квантования, эффект увеличения массы носителей, например в результате взаимодействия носителей с локализованными состояниями или оптическими фононами. Использование размерного квантования подробно докладывалось ранее [1]. В данной работе рассматривается роль эффективной массы, а именно хорошо известно выражение для туннельной прозрачности *D* одиночного барьера высотой U_b для частиц с массой *m* и энергией *E* (см. например [2]):

$$D = \exp\left(-\frac{2}{\hbar}\int_{0}^{d}\sqrt{2m(U_{b}-E)}dz\right)$$
(1)

Из формулы (1) хорошо видно, что, увеличивая массу частицы, можно уменьшить экспоненциальный показатель в той же степени, что и уменьшение энергии частицы, которая пропорциональна затворному напряжению. Способы же увеличения эффективной массы хорошо известны в физике твердого тела. Эффективная масса увеличивается за счет взаимодействий носителей, например с локализованными состояниями, энергия которых располагается в зоне проводимости [3]. Другой пример это взаимодействие носителей с оптическими фононами в полярных кристаллах с образованием поляронов [4]. В этом случае необходимо отметить, что при большой концентрации носителей в канале это взаимодействие хорошо экранируется и масса носителей не увеличена. Таким образом обеспечивается поддержание высокой подвижности в контактах. В режиме же обеднения канала экранирование ослабляется, что приводит к значительному увеличению массы из-за взаимодействия с оптическими фононами и уменьшению туннелирования. Таким образом, полевые транзисторы на основе полярных полупроводников должны обладать заметно меньшими токами утечки.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 13-02-01025.

- В.Г. Попов. Сборник тезисов V-й Всероссийской конференции молодых ученых «Микро-, нанотехнологии и их применение» им. Ю.В. Дубровского, 19-22 ноября, Черноголовка, ИПТМ РАН, с. 13 (2012).
- 2. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. «Теоретическая физика. Т.3. Квантовая механика». М: ФИЗМАТЛИТ, стр. 228 (2002).
- 3. W. Shan, W. Walukiewicz, J. W. Ager III, E. E. Haller, J. F. Geisz, D. J. Friedman, J. M. Olson, and S. R. Kurtz, Phys. Rev. Lett. 82, 1221 (1999).
- 4. J.T. Devreese, "Polarons in Ionic Crystals and Polar Semiconductors" (North-Holland, Amsterdam, 1972).

Элементы энергонезависимой памяти ReRAM на основе функционального слоя из оксида тантала.

<u>Киселёва И.В.</u> Шадрин А.В., Заблоцкий А.В., Киртаев Р.В., Зайцев С.А. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ)

Биполярные ReRAM на основе тонких плёнок оксидов металлов (MO) являются быстро развивающейся концепцией памяти на биполярном резистивном переключении. Структура ячеек MO ReRAM является асимметричным стеком электрод/изолятор/электрод. Один электрод служит для создания интерфейса, в котором происходит переключение, другой электрод служит в качестве резервуара для переключения [1]. кислородных анионов в ходе Наиболее распространенными металлическими оксидами, демонстрирующими переключение, являются TaO_x [2] и HfO_x [3] за счёт их отличной производительности и CMOS совместимости.

Нами были созданы экспериментальные образцы функциональных элементов энергонезависимой памяти ReRAM на основе структуры $TiN/Ta_2O_5/TiN$. При этом использовались заготовки нижнего электрода производства OAO "НИИМЭ и Микрон", представляющие собой структуры вида Si/SiO₂ (300 нм)/TiN (90 нм).

Измерения электрических характеристик осуществлялись с помощью зондовой станции (Agilent B1500A). Тесты на деградацию проводились в импульсном режиме. функциональных свойств Длительность импульсов составляла 1 мкс, амплитуда импульсов была равной $V_{\text{SET}} = 1,7$ В и $V_{\text{RESET}} = -2$ В для акта включения и выключения соответственно. Считывание текущего значения тока осуществлялось при напряжении $V_{\text{read}} = -0.1$ В. Для ячеек памяти с латеральными размерами 0.32x0.32 МКМ абсолютные значения характерного TiN/Ta₂O₅(10 нм)/TiN сопротивления $R_{\rm ON}$ для структур типа составляют 900-2600 Ом. Изготовленные структуры демонстрируют устойчивый эффект резистивного переключения с отношением сопротивлений высоко- и низкоомного состояния более 5.

- 1. R. Waser, R. Bruchhaus, and S. Menzel, Nanoelectronics and Information Technology, 3rd edn,, Wiley-VCH, Berlin, 2012.
- 2. Z. Wei, et al., IEDM, pp. 1-4, 2008.
- 3. H. Y. Lee, et al., IEDM Tech. Dig., pp. 1-4, 2008.

Резистивное переключение в МИМ-структурах, полностью выращенных атомно-слоевым осаждением

<u>К.В.Егоров</u>¹, А.М. Маркеев¹, Р.В. Киртаев¹, О.М. Орлов²,Ю.Ю. Лебединский¹, А.В. Заблоцкий¹. ¹Московский Физико-Технический Институт, Долгопрудный

²НИИ молекулярной электроники, Москва, Зеленоград

Структуры металл-изолятор-металл, демонстрирующие эффект резистивного переключения, могут найти применения лля энергонезависимой памяти (ReRAM), обладающей рядом преимуществ по сравнению с основной современной энергонезависимой памятью памятью по технологии Флеш. Однако, современная Флэш-память становится 3-х мерной (3D Vertical NAND), и чтобы новая память могла конкурировать с ней по емкости она тоже должна быть 3-х мерной. Одной из перспективных концепций 3D ReRAM является концепция вертикальной ReRAM (Vertical ReRAM) [1]. Для Vertical ReRAM конформное нанесение активного как оксилного диэлектрического слоя, так и металлических слоев на структуры с большим аспектным соотношением становится ключевой залачей. Процессы атомно-слоевого осаждения (АСО) известны своей уникальной конформностью покрытия 3-D структур. Но если для получения оксидных слоев ReRAM МИМ-ячеек ACO используется в научных работах достаточно широко, то работы по применению АСО для получения металлических слоев в резистивно-переключаемых МИМ-ячейках практически отсутствуют. Поэтому разработка АСОпроцессов получения как оксидных диэлектрических, так И металлических слоев для ReRAM ячейки, является новой, но и достаточно сложной задачей.

В данной работе исследовались МИМ структуры, полностью выращеные АСО в одном вакуумном цикле. В докладе будут представлены результаты *in vacuuo* диагностики каждой стадии АСОроста МИМ структур рентгено-фотоэлектронной методом спектроскопии $(P\Phi \exists C)$ параметров роста И влияние на электрофизические параметры структуры.

1. Baek I.K., Electron Devices Meeting (IEDM), 2011 IEEE International, P. 31.8.1 - 31.8.4

23

Эффект переключения электрической проводимости в структурах металл-диэлектрик-металл на основе нестехиометрического оксида кремния

<u>П.С. Захаров</u>¹, А.Г. Итальянцев² ¹ОАО «НИИМЭ и Микрон», Москва ²ОАО «НИИМЭ и Микрон», Москва

Наиболее перспективные элементы энергонезависимой памяти имеют в своей основе нестехиометрический оксид кремния (SiO_x, где x<2), как материал совместимый с технологией кремниевой [1-3]. микроэлектроники Олнако механизм переключения электропроводности в таких структурах до сих пор не ясен. В настоящей работе проведен анализ работы мемристоров на основе SiO_x с алюминиевыми и вольфрамовыми электродами.



Впервые показано: существует такой нестехиометрический состав SiO_x и методы его формирования, при которых эффект переключения проводимости наблюдается даже на островковых структурах без их вакуумирования. До сих пор считалось [2], что такие устройства способны функционировать только в вакууме.

- 1. Adnan Mehonic et al. Nanotechnology, 23, 455201 (2012)
- 2. James M. Tour et al. Adv. Mater., 25, 4789–4793 (2013)
- 3. Yuefei Wang et al. Appl. Phys. Lett., 104, 012112 (2014)

Математическая модель ячейки энергонезависимой FLOTOX памяти.

<u>Д.Д. Воронов</u>^{1,2}, О.М. Орлов² ¹МФТИ, г. Долгопрудный ²"НИИМЭ и Микрон", г. Зеленоград

В данной работе представлена математическая модель ячейки энергонезависимой памяти, позволяющая описать режимы программирования пороговые элемента памяти И рассчитать напряжения структуры записанном стертом состоянии. в И Представленная молель лля работы предназначена с энергонезависимой памятью на основе хранения заряда.

В рамках представленной модели предполагается, что основным механизмом переноса заряда является туннелирование Фаулера-Нордгейма. Значение коэффициентов, входящих в уравнение для туннельного тока, экспериментально уточнено в работе [1] и взято нами для лучшей точности расчетов. Входными параметрами для модели являются форма импульса напряжения программирования и технологически задаваемые[2] параметры структуры: топологические размеры транзистора памяти, величина потенциального барьера, толщина туннельного окисла и т.д.

На базе построенной модели были произведены расчеты пороговых напряжений ячейки памяти в записанном и стертом состоянии, полученные результаты будут представлены в докладе. Результаты были сопоставлены с экспериментальными данными о структуре и был сделан вывод о том, что построенная в результате работы феноменологическая модель позволяет с достаточной точностью описать режимы программирования ячейки памяти с плавающим затвором и спрогнозировать значение таких важных величин как "окно памяти", "пороговое напряжение" и величину накопленного заряда в плавающем затворе.

- Д.Д. Воронов, О.М. Орлов Труды 56-й научной конференции МФТИ, Физическая и квантовая электроника, стр. 47-49 (2013).
- 2. Г.Я. Красников Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов, (2011).

Принципы функционирования элементов энергонезависимой памяти с запоминающей средой на основе нитрида кремния.

<u>Измайлов Р.А.^{1,2}</u>, Орлов О.М.^{1,2} ¹МФТИ (ГУ), г. Доолгопрудный ²ОАО «НИИМЭ», г. Зеленоград

Наиболее распространенными энергонезависимыми электрически стираемыми перепрограммируемыми постоянными запоминающими устройствами (ЭСППЗУ), в которых реализован принцип изменения порогового напряжения за счет изменения заряда в запоминающей среде, являются устройства на основе МДП полевых транзисторов[1] с «плавающим» поликремниевым затвором, а также со структурой металл-оксид-нитрид-оксид-полупроводник (МОНОП) [2-5]. В ланной работе исслелованы основные принципы функционирования И особенности созлания элементов энергонезависимой памяти с запоминающей средой на основе нитрида кремния, к которым проявляется значительный интерес, в частности в получения связи с возможностью низковольтных напряжений программирования, наличием иммунитета к дефектам в структуре элемента, значительным потенциалом масштабирования.

В ходе работы были разработаны феноменологическая и соответствующая ей математическая модели функционирования элемента энергонезависимой памяти с запоминающей средой на основе нитрида кремния и выработаны рекомендации и подходы для дальнейшего моделирования режимов работы таких элементов памяти.

- 1. Г.Я. Красников. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов. Изд. «Техносфера», (2011).
- V.A. Gritsenko, H. Wong, J.B. Xu et al. Excess silicon at the silicon nitride/thermal oxide interface in oxide–nitride–oxide structures. J. Appl. Phys. №86, c. 3234 – 3240, (1999).
- 3. J. Bu, M. H. White. Design considerations in scaled. SONOS nonvolatile memory device. Solid-State Electronics, №45, c. 113-120, (2001).
- 4. О.М. Орлов. Конструктивно технологические особенности энергонезависимой памяти на КОНОП структурах. Научно-практический межотраслевой журнал «Интеграл», 69-70, № 1–2, с. 22-23, (2013).
- О.М. Орлов. Исследование конструктивно-технологических особенностей встроенной энергонезависимой памяти, основанной на хранении заряда. Тезисы докладов, X конференция «Кремний-2014», Иркутск, 07-12 июля 2014, с. 160, (2014).

Спиновый фильтр на основе открытой системы с квантовой точкой

<u>Г.Г. Исупова</u>, А.И. Малышев ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород.

Спин-орбитальное взаимодействие (далее СОВ) проявляется в физике твердого тела на фундаментальном уровне, определяя электронные квантовые состояния и приводя к многочисленным транспортным и оптическим эффектам, многие из которых имеют и практический интерес [1].

Одним из важных устройств спинтроники является спиновый фильтр, используемый для отбора носителей с заданной спиновой поляризацией. Перспективной представляется возможность построения спинового фильтра на основе резонансов Фано – асимметричных резонансов проводимости, возникающих в результате взаимодействия локализованных состояний и континуума [2].

Предлагаемая модель спинового фильтра также базируется на использовании резонансов Фано. При этом, однако, речь идет о резонансах, обнаруженных ранее [3] и вызванных включением в системе СОВ. Структура, на примере которой производится моделирование, представляет собой квантовую точку круглой формы с подведёнными к ней квазиодномерными каналами.

«Включение» в системе СОВ вызывает появление на зависимости проводимости от энергии носителей дополнительных резонансов, подобных асимметричным резонансам Фано. Включение же магнитного поля в плоскости структуры приводит к тому, что спиновая поляризация состояния на выходе системы оказывается, вообще говоря, отличной от поляризации состояния на входе. При этом если на вход системы подана одна волна, то в выходном канале, вообще говоря, распространяются сразу две волны с противоположными векторами среднего спина.

В работе показано, что в исследуемой структуре возможна также реализация и противоположного, менее тривиального эффекта, а именно – выделения одной волны из поданной во входной канал суперпозиции. Таким образом, исследуемая структура может функционировать как спиновый фильтр.

- 1. M.W. Wu, J.H. Jianga, and M.Q. Weng. Phys. Rep., 493, 61 (2010).
- 2. F. Zhai, H.Q. Xu. Phys. Rev. B, 76, 035306 (2007).
- 3. Г.Г. Исупова, А.И. Малышев. Письма в ЖЭТФ, **94**, 597 (2011).

Электрохимические интегральные микросхемы, технология и применение.

В.Г. Криштоп.

Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов, Черноголовка

Молекулярно-электронный преобразователь (МЭП) это герметичное электрохимическое устройство, включающее набор помещенных в раствор электролита, электродов. и способное регистрировать механические колебания благодаря вынужденной конвекции электролита, возникающей в результате воздействия внешнего механического сигнала. В настоящее время активно развивается кремниевая микроэлектронная технология производства преобразователей движения на основе молекулярно-электронного переноса с использованием микро- и нанотехнологий для применения в высокочувствительных датчиках параметров движения и волновых полей [1-4]. Стремительная миниатюризация молекулярноэлектронных преобразователей открывает целый фронт исследований, необходимых для дальнейшего развития технологии молекулярнопереноса современную электронного и внедрения eë в Появление МЭПмикроэлектронику. микроэлектронных акселерометров планарного типа [5,6] существенно расширяет область применения устройств на основе молекулярно-электронного переноса, и дальнейшее развитие этой технологии в скором времени, по всей видимости, приведет к появлению гибридных микросхем, сочетающих в себе элементы твердотельной электроники и микроэлектронных твердотельно-жидкостных преобразователей.

В работе освещаются основные принципы работы МЭП и существующие достижения в технологии изготовления планарных МЭП. Обсуждаются пути интеграции МЭП и объектов элементной базы планарной кремниевой микроэлектроники в одном кристалле. Ставятся задачи интеграции планарного МЭП с первичными цепями усиления в планарном кремниевом исполнении, с элементами термостабилизации, термокомпенсации или элементами магнитогидродинамической и магнитосиловой обратной связи для МЭП, вопросы корпусировки и реализации в корпусе микросхемы объемов жидкого электролита, возможное размещение на образце наногидродинамических устройств для заполнения электролитом или улучшения характеристик планарного МЭП. Фактически предлагаются пути создания микросхемных решений, содержащих МЭП и стандартные элементы, и готовых к использованию прямо с конвейера.

Измерители параметров движения на основе молекулярноэлектронного переноса в наноструктурах, при ИХ невысокой себестоимости при массовом производстве с использованием современных микро- и наноэлектронных технологий и качественном повышении технических параметров, имеют весьма широкую сферу применения, включая сейсморазведку (в том числе 2D и 3D, в том числе, векторную), системы навигации (в том числе портативные персональные и предназначенные для малых автономно действующих аппаратов), системы виброконтроля и сейсмического мониторинга состояния зданий и сооружений, некоторые медицинские приложения (такие как носимые системы кардиомониторинга, ортопедии и спортивной автомобильные медицины), системы безопасности, робототехника и многие другие.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 12-07-33101, 13-07-00866-а, 13-07-00744)

1. Агафонов В. М., Криштоп В. Г., Исследование АЧХ молекулярноэлектронного преобразователя с новой геометрией. Микросистемная техника, 2004, No.9, с 40-45.

2. V.M. Agafonov, V.G. Krishtop Diffusion Sensor of Mechanical Signals: Frequency Response at High Frequencies. Russian Journal of Electrochemistry $-2004 - Vol.40 - N_{\odot}.5 - p.537$.

3. Агафонов В.М., Криштоп В.Г., Сафонов М.В. Измерительные устройства на основе молекулярно-электронного переноса в микро- и наноструктурах. Нано- и Микросистемная техника, 2010, №6, с.47-53.

4. V. G. Krishtop, V. M. Agafonov, and A. S. Bugaev, «Technological Principles of Motion Parameter Transducers Based on Mass and Charge Transport in Electrochemical Microsystems», Russian Journal of Electrochemistry, 2012, Vol. 48, No. 7, pp. 746–755.

5. A.S. Bugaev, V.M. Agafonov, V.G.Krishtop, A.N. Antonov, V.S. Veretin, «Seismic sensors for oil and gas complex on the molecularelectronics transduction in the solid state and liquid microsystems» Oil & Gas Field Engineering 2013, Special Issue №3: Results of 2012. pp. 46-52.

6. Агафонов В.М., Криштоп В.Г., Егоров И.В. «Сейсмические датчики на принципах молекулярно-электронного переноса в твердотельных и жидкостных микроструктурах», Приборы и системы разведочной геофизики. 2013. Т. 43. № 1. С. 39-49. Изд.: ИнформГеофизСервис (Саратов).

Исследование перспективной технологии и конструкций микросхем высокочастотных импульсных преобразователей напряжения с частотой переключения силового ключа свыше 10 МГц.

Силаев А.А. ОАО «НИИМЭ», г. Зеленоград.

В современной аппаратуре практически всегда присутствуют элементы, требующие различных уровней напряжения питания. Эти уровни обеспечиваются импульсными преобразователями напряжения. Такие преобразователи широко используются как в военной, так и в гражданской технике, например в автомобилях и в персональных компьютерах.

С связи с миниатюризацией элементной базы и уменьшением напряжения питания микросхем возрастают требования к массогабаритным и точностным характеристикам преобразователей. Эти характеристики сильно зависят от частоты переключения ключа. В настоящее время в России отсутствует производство высокочастотных импульсных преобразователей напряжения с частотой переключения силового ключа свыше 10 МГц, поэтому исследование перспективной технологии и конструкций микросхем высокочастотных импульсных преобразователей востребованными.

В результате работы НИР была спроектирована электрическая схема преобразователя с частотой переключения силового транзистора не менее 10 МГ<u>и</u>. Была разработана топология микросхемы, числе встроенной интегральной co в TOM индуктивностью.

Литература:

1. Г. Волович. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств — 2005.

2. Д. Иоффе. Разработка понижающего преобразователя без секретов. Перевод статьи "Buck-Converter Design Demystified" by Donald Schelle and Jorge Castorena, Technical Staff, Maxim Integrated Products, Sunnyvale. // Компоненты и технологии. Журнал – 2007.

3. Kalyan Chakravarthi Boddapati . Lokesh Tammineni. Load Identification of DC-DC Buck Converter. // School of Engineering, Blekinge Institute of Technology, SE-371 79 Karlskrona, Sweden.

Сверхпроводниковые и ферромагнитные микрои наноструктуры

«Магнитоупругое и обменное взаимодействия в устройствах магниторезистивной памяти нового поколения

Д.Л. Винокуров

Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, Москва, Россия

Олним ИЗ наиболее перспективных путей развития магниторезистивной является переход памяти на запись электрическим полем. Предполагается, что устройства магниторезистивной памяти нового поколения, основанные на этом принципе. (MERAM) будут обладать заметно меньшим энергопотреблением по сравнению с существующими [1].

Для переключения намагниченности одного из ферромагнитных слоев, входящего в туннельное магнитное соединение (МТЈ), используется дополнительный электрочувствительный слой, соседствующий с выбранным ферромагнитным слоем. Существуют два основных механизма взаимодействия между электрочувствительным и ферромагнитным слоем: за счет обменного взаимодействия между спинами указанных слоев и взаимодействие за счет упругих деформаций, передаваемых от слоя слою.

В работах [2, 3] было показано, что взаимодействие с ферромагнитным слоем возникает. основном, не за счет в существования в мультиферроике слабого ферромагнитного момента. обусловленного полем Дзялошинского, как ошибочно полагают в большинстве современных работ по данной тематике (смотри, например [4, 5]), а за счет межслойного гейзенберговского обмена в условиях спин-флоп ориентации магнитных параметров порядка границы раздела ферромагнетик – компенсированная вблизи поверхность антиферромагнетика. Однако упругое взаимодействие на границе раздела ферромагнетик – BiFeO₃ в этих работах не учитывалось.

В данной работе изучен вклад упругого взаимодействия в полную энергию взаимодействия ферромагнитного нанослоя с нанослоем

31

мультиферроика BiFeO₃ и показано, что он составляет менее 10%, а основной вклад в энергию обусловлен обменным взаимодействием. В зависимости от знака магнитоупругого коэффициента магнитоупругое и обменное взаимодействия между слоями могут конкурировать друг с другом, либо стремятся сориентировать намагниченность в одном направлении. Перемагничивание слоя ферромагнетика ферромагнетика определяется обменным взаимодействием. Электрическое поле приводит к развороту вектора поляризации и антиферромагнетизма связанного с ним вектора в слое в свою очередь, приводит к развороту мультиферроика, ЧТО. намагниченности ферромагнитного слоя на 90° за счет обменного взаимодействия на границе раздела ферромагнетик-мультиферроик, спин-флоп ориентацией обусловленного магнитных параметров порядка.

Значение минимального латерального размера устройства MERAM на основе обменного взаимодействия в системе ферромагнетик-мультиферроик составляет всего 7 nm, что позволяет отнести создание такой памяти к одному из наиболее перспективных путей развития систем хранения информации.

- 1. А.И. Морозов. ФТТ 56, №5, 833 (2014).
- 2. Д.Л. Винокуров, А.И. Морозов. ФТТ 55, №11, 2135 (2013).
- 3. Д.Л. Винокуров. Нано- и микросистемная техника 4, 34 (2014).
- R. Thomas, J.S. Scott, D.N. Bose, R.S. Katiyar. J. Phys.: Cond. Matt. 22, №42, 423201 (2010).
- J. J. Wang, J. M. Hu, T. N. Yang, M. Feng, J. X. Zhang, L. Q. Chen, C. W. Nan. Sci. Reports 4, 4553 (2014).

Многоэлементные SSPD детекторы

Э.Р. Хан¹, А.В. Дивочий², В.А. Селезнев², К.В. Смирнов^{1, 2}

¹ФГБОУ ВПО «Московский педагогический государственный университет»

²ЗАО «Сверхпроводниковые Нанотехнологии» (СКОНТЕЛ)

В настоящее время повышаются требования к характеристикам высокочувствительных однофотонных детекторов ближнего инфракрасного диапазона, появляется необходимость создания детекторов с принципиально новыми свойствами. Одна из самых успешных на сегодняшний день реализаций однофотонных детекторов - сверхпроводниковые однофотонные детекторы (SSPD от superconducting single photon detector) на основе тонкой пленки NbN [1], имеющие рекордные предельные характеристики: максимальная скорость счета - 2x10⁹ с⁻¹, квантовая эффективность в ближнем ИК диапазоне - до 45%, вероятность ложных срабатываний - 0,0001 с⁻¹, временное разрешение - 25 пс. Механизм детектирования SSPD летектором заключается в нарушении сверхпроводимости при поглощении фотона в тонкопленочной NbN полоске, несущей транспортный ток, близкий к критическому току распаривания куперовских пар. Основными направлениями применения SSPD являются: различные области спектроскопии, астрономия, медикобиологические исследования, бесконтактный метод диагностики и тестирования микросхем, квантовая криптография и пр.

В научных публикациях последних лет обращается внимание на то, что разделение чувствительной области SSPD детекторов на независимые участки, т.е. создание многоэлементных детекторов, является перспективной задачей, так как позволяет одновременно и значительно улучшить несколько основных характеристик SSPD скорость счета, квантовую эффективность, временное разрешение, а также реализовать детекторы с возможностью определения количества числа фотонов в импульсе оптического излучения И пространственного положения места поглошения фотона сверхпроводником [2]. Применение многоэлементных однофотонных перспективно летекторов. несомненно, инфракрасной в спектроскопии, в оптических коммуникациях (в режиме экстремально низкого излучения) и др. [3].

В настоящей работе мы представляем первые результаты по созданию и исследованию характеристик сверхпроводниковых детекторов оптимизированных путем использования соответствующих

резонаторных структур для длин волн 1.3-1.55 мкм и состоящих из 7 независимых SSPD, чувствительные области которых заполняли площадку диаметром ~ 20 мкм (рис.1).



Рис. 1. Изображение многоэлементного SSPD полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа. (а), (б) – увеличенное изображение чувствительной области SSPD. Темные участки — полоски сверхпроводника, светлые — участки, где сверхпроводник удален.

Чувствительная область каждого SSPD детектора была выполнена в виде узкой (~100 нм) и тонкой (~4 нм) полоски NbN, имеющей форму меандра и покрывающей с плотностью 0.5 площадку 7х7 мкм². Нами был разработан дизайн многоэлементного детектора, позволяющий с максимальной плотностью расположить чувствительные области отдельных SSPD, адаптирован технологический маршруг создания таких детекторов, изготовлены первые образцы. Результаты измерения температуры перехода в сверхпроводящее состояние и плотности критического тока показывают, что все детекторы в составе многоэлементного SSPD имеют близкие температуры сверхпроводящего перехода, находящиеся в диапазоне Т_с =10.5-10.8 К, и плотности критического тока, измеренные при температуре 4.2 К и $j_c = 2.3 - 2.5 \cdot 10^6 \text{A/cm}^2$. составляющие Незначительное отклонение указанных величин от их среднего значения свидетельствует, что одна ИЗ основных проблем при создании многоэлементных сверхпроводниковых однофотонных детекторов проблема их идентичности, была успешно решена.

- 1. *Gol'tsman G. [et al.]* Picosecond superconducting single-photon optical detector. App. Phys. Lett. 2001. V. 79. P. 705 707.
- Miki S. [et al.] Development of fiber-coupled four-element superconducting nanowire single-photon detectors. - Physics Procedia. – 2012. – 36. – P. 77 – 81.
- 3. *Verma V.B. [et al.]* A four-pixel single-photon pulse-position array fabricated from WSi superconducting nanowire single-photon detectors. App. Phys. Lett. 2014. V. 104.

Джозефсоновские переходы с нанонитями в качестве слабой связи

<u>Скрябина О.В.</u>¹, Егоров С.В.¹, Гончарова А.С.², Напольский К.С.², Батов И.Е.¹, Рязанов В.В.^{1,2}, Столяров В.С.^{1,2} ¹Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка ²МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

С использованием электронной литографии нами были изготовлены SNS джозефсоновские контакты, где сверхпроводник S – ниобий, а нормальный металл N – медная нанопроволока, выращенная электрохимическим методом сквозь мембрану оксида алюминия. Были проведены транспортные измерения данной структуры (рис. 1а) в He4 криостате, результат измерений в поперечном магнитном поле представлен на рис. 16.

Такие переходы характеризуются сравнительно высоким критическим током до 40 мкА и сопротивлением барьера $R_n = 0,35$ Ом. Благодаря использованию Nb ($T_c = 8,2K$) в качестве сверхпроводника, заметный джозефсоновский ток сохраняется вплоть до температуры 3,5 K и монотонно убывает с увеличением магнитного поля, что объясняется теоретической моделью Bergeret-Cuevas для эффекта близости в наноразмерных джозефсоновких контактах. Наши исследования демонстрируют возможность использования таких структур в RSFQ логике в качестве слабой связи.



Рис. 1. а) – SEM-изображение SNSструктуры, диаметр нитки d = 170 нм, длина контакта L = 670 нм.

b) – график зависимости критического тока джозефсоновского перехода от перпендикулярного магнитного поля.

Точками отмечены экспериментальные данные, сплошная линия соответствует теоретическим расчетам по модели Bergeret-Cuevas, при значении SNS характерной энергии перехода (энергии Таулеса). Отсюда энергия Таулеса $E_{Th} = 28$ мкВ.

Типичная для перехода осциллирующая зависимость отсутствует, т.к. это случай, когда диаметр проволоки меньше магнитной длины $\xi_B = (dL)^{1/2} = 0.34$, и магнитное распаривание при поле первой осцилляции H_0 уже подавляет наведенную сверхпроводимость.

Сверхпроводниковый NbN приёмник терагерцового излучения на основе криогенного рефрижератора замкнутого цикла.

<u>Васяков А.А.,</u> Пентин И.В., Вахтомин Ю.Б., Смирнов К.В. Московский педагогический государственный университет

С момента открытия эффекта электронного разогрева в тонкопленочных сверхпроводниковых структурах и создания на его основе первых сверхпроводниковых НЕВ (от англ. Hot Electron Bolometer) приемников терагерцового диапазона [1], к настоящему времени последние продемонстрировали рекордное быстродействие (~50 пс) и чувствительность или мощность эквивалентную шуму (NEP, от англ. Noise Equivalent Power и достигающую значений $<10^{-14}$ Вт Гц ^{1/2}) в диапазоне 0.3-70 ТГц [2]. Современные сверхпроводниковые НЕВ как правило, основаны на ультратонких, порядка болометры. нескольких нанометров, пленках сверхпроводников NbN, NbTiN, MoRe, Nb, Nb/Au и др., и традиционно используются в применениях, требующих предельного быстродействия и высокой чувствительности, например, в спектроскопии терагерцового диапазона, включая спектроскопию ближнего поля, радиоастрономии, при исследовании быстропротекающих релаксационных процессов и пр. Отметим, что предельные характеристики сверхпроводниковых болометров использовании достигаются при низкотемпературных сверхпроводников с температурой сверхпроводящего перехода ~6-10 К. Поскольку рабочая температура сверхпроводящих болометров близка к температуре сверхпроводящего перехода, то для ее достижения в настоящее время используются системы на основе жидкого гелия – заливные и проточные криостаты. Вместе с тем, использование жидкого гелия не всегда удобно, поскольку требует наличия специальных навыков И специального криогенного оборудования.

Развитие криогенных рефрижераторов замкнутого цикла, например, на основе цикла Гиффорда-Мак-Магона, решает эту проблему. Такие рефрижераторы не требуют пополнения жидкого гелия и специальных навыков работы с криогенным оборудованием. В настоящей работе мы представляем результаты по созданию и исследованию основных характеристик NbN НЕВ приемника терагерцового диапазона, основанного на криогенном рефрижераторе замкнутого цикла.

НЕВ болометр был изготовлен из пленки NbN толщиной 3.5 нм с чувствительным элементом размером 2.0.2 мкм², сопряженным с планарной металлической спиральной антенной, оптимизированной

для частотного диапазона 0.3-3 ТГц. Для дополнительной фокусировки излучения использовалась кремниевая вытянутая полусферическая линза, оптимизированная для коллимированного входного пучка диаметром 10 мм. Для охлаждения NbN НЕВ болометр был установлен в криогенный рефрижератор замкнутого цикла SUMITOMO RDK 101d, снабженный оптическим криостатом.

Основной измеряемой характеристикой в наших экспериментах являлась мощность эквивалентная шуму. Измерения были выполнены методом механической модуляции излучения от горячей/холодной нагрузки с температурами 300/77 К соответственно и с использованием узкополосных фильтров излучения терагерцового диапазона. Измерения сигнала и шума были выполнены селективным известной частотной полосой вольтметром с детектирования. Результаты измерения показали, что NEP приемника на основе криогенного рефрижератора замкнутого цикла полностью соответствует NEP приемника на основе заливного гелиевого криостата и составляет 5-8·10⁻¹³ Вт·Гц^{-1/2}. Отметим, что основной задачей при создании ТГц приемника на основе криогенного рефрижератора замкнутого цикла являлась стабилизация рабочей температуры НЕВ болометра, определяемая и особенностями работы рефрижератора. Достижение значений NEP созданного приемника, соответствующих НЕВ болометру, работающему при охлаждении жидким гелием, подтверждает, что задача стабилизации температуры была успешно решена.

Литература:

- E.M.Gershenzon, M.E.Gershenzon, G.N. Gol'tsman, A.D. Semenov, A.V. Sergeev. Hiating of electrons in superconductor resistive state due to electromagnetic radiation // Solid State Commun. – 1985. - V.50. – N. 3. - P. 207-212.
- 2. www.scontel.ru

Исследование SSPD приемника, оптимизированного под работу в диапазоне длин волн от 700до 1200 нм

Ф.И. Золотов^{1,2}, Ю.Б. Вахтомин^{1,2}, А.В. Дивочий², В.А. Селезнев¹, К.В. Смирнов^{1,2}

¹ФГБОУ ВПО «Московский педагогический государственный университет» ²ЗАО «Сверхпроводниковые Нанотехнологии»

Несмотря на широкоеприменение лавинных фотодиодов (APD) в качестве приемников одиночных фотонов вилимого и ближнего ИК диапазонов, существуют участки спектра, которых в данный тип детекторов является неэффективным. Мы представляем



Рисунок 1. Зависимость вероятности детектирования фотона (DetectionEfficiency) и уровня ложных срабатываний (Darkcounts) детектора от тока смещения (DetectorCurrent) на различных длинах волн

результатыисследования характеристик однофотонных сверхпроводниковых детекторов(SSPD), оптимизированных под работу в диапазоне длин волн от 700 до 1200 нм. Данный вид SSPD обладает большей квантовой эффективностью на данном участке спектра по отношению к SSPD, ориентированным под работу на телекоммуникационных длинах волн[1]. На рисунке 1 представлены результаты исследования зависимости эффективности детектора при температуре 2 К от тока смещения на различных длинах волн. Список литературы:

C. Zinoni, B. Alloing, L. H. Li, F. Marsili, A. Fiore, L. Lunghi, A. Gerardino, Yu. B. Vakhtomin, K. V. Smirnov, and G. N. Gol'tsman, "Single-photon experiments at telecommunication wavelengths using nanowire superconducting detectors", Appl. Phys. Lett., 91:031106, 2007

Физика микро- и наноструктур

Дробовой шум и электрон-электронные корреляции в мезоскопических полупроводниковых структурах

<u>Е.С. Тихонов</u>, В.С. Храпай, Д.В.Шовкун ИФТТ РАН, г. Черноголовка Московский Физико-Технический Институт (ГУ), г. Долгопрудный

Протекание электрического тока в проводнике сопровождается флуктуациями, напрямую связанными с дискретностью элементарного Экспериментальное изучение заряда. токовых флуктуаций представляет большой интерес, так как может предоставить информацию о системе, недоступную из обычных кинетических характеристик. В частности, измерение шума позволяет судить о величине заряда и статистике движения квазичастиц, участвующих в переносе тока, может являться методом локальной термометрии, а также позволяет исследовать эффекты взаимодействия. На примере последних экспериментов в докладе будут продемонстрированы некоторые из этих возможностей.

Речь пойдет, во-первых, об измерении дробового шума в двумерной электронной системе (GaAs/AlGaAs гетерострутктура) в режиме прыжковой проводимости, где для образца макроскопического размера нами впервые была продемонстрирована пуассоновская статистика протекания тока. В перспективе этот результат может позволить напрямую измерить заряд элементарного носителя в многочастичных диэлектрических фазах, например, в куперовском изоляторе. Шумовые измерения в баллистическом точечном контакте в шарвиновском пределе позволили нам впервые показать, что основной вклад в нелинейное сопротивление контакта дают процессы электронэлектронного рассеяния вдали от контакта. На примере измерений шума в InAs-нанопроводе будет рассказано о реализации концепции пространственным термометрии с разрешением. Также будут представлены результаты наших последних измерений в топологическом изоляторе на основе CdTe/HgTe/CdTe квантовой ямы.

Обнаружение нового слабо затухающего плазменного возбуждения в двумерной электронной системе

В.М. Муравьёв, <u>П.А. Гусихин</u>, И.В. Кукушкин Институт физики твердого тела Российской академии наук, г. Черноголовка.

Плазменные волны в двумерных электронных системах (ДЭС) привлекают интерес исследователей на протяжении десятилетий [1]. С одной стороны такой интерес вызван тем, что параметры плазмонов в ДЭС легко менять в широких пределах изменением электронной плотности или приложением перпендикулярного магнитного поля. С другой стороны, скорость плазмонов может достигать значений *v=c*/10, при этом фундаментальная плазменная мода в структурах с микрометровым размером находится в терагерцовом частотном диапазоне. Однако затухание плазменных возбуждений в ДЭС определяется временем релаксации носителей заряда, ограничивая исследование плазменных волн низкими температурами или дальним инфракрасным частотным диапазоном.

Один из возможных путей обойти вышеописанные ограничения -гибридизация плазмона с электромагнитной волной. Таким образом затухание уменьшается благодаря перераспределению плотности электромагнитного поля из ДЭС в окружающую среду. Этот режим зарядовой динамики в последнее время привлекает значительный интерес, так как в этом случае стандартный электростатический подход перестаёт работать, и центральную роль начинают играть не очень хорошо изученные эффекты запаздывания [2-4].

В данном исследовании мы докладываем о первом изучении слабо затухающей плазменной волны, возникающей в ДЭС в режиме сильного запаздывания. Плазменная мода наблюдалась в ДЭС на основе AlGaAs/GaAs гетероструктур. Плотность в различных образцах менялась в диапазоне от 1.2×10^{11} см⁻² до 4.4×10^{12} см⁻². Мода возбуждалась в полоске ДЭС металлической микроантенной, чипе. Резонансное возбуждение расположенной на плазмона детектировалось с помощью трёх независимых методик: разогрев ДЭС, пропускание микроантенны и схема спаренных резонаторов.

Мы показывем экспериментально, что электронная плотность в ДЭС, приложенное перпендикулярное магнитное поле и геометрия микроантенны сильно влияют на дисперсию плазменной моды и её ширину. Мода возбуждается и при частотах $\omega \tau < 1$ (τ -- время

релаксации носителей заряда). Мы демонстрируем, что новая плазменная мода имеет необычное пространственное распределение



Рис. 1. Резонансы в пропускании полоски ДЭС, соответствующие возбуждению плазменной моды. Магнитодисперсия плазменого возбуждения (левая вставка). Наблюдение слабо затухающей плазменной моды при комнатной температуре (правая вставка).

электромагнитного поля. Также, мы показываем, что плазменная мода наблюдается вплоть до температуры 300 К (Рис. 1). Использование новой плазменной моды в современных устройствах плазмоники потенциально может устранить существующие температурные ограничения заложить основы для новых высокотемпературных микроволновых и терагерцовых приложений.

- *I*. S.J. Allen, Jr., D.C. Tsui, and R.A. Logan. Phys. Rev. Lett. **38**, 980-983 (1977).
- 2. I.V. Kukushkin, J.H. Smet, S.A. Mikhailov, D.V. Kulakovskii, K. von Klitzing, and W.Wegscheider. Phys. Rev. Lett. **90**, 156801 (2003).
- 3. V.M. Muravev, I.V. Andreev, I.V. Kukushkin, S. Schmult, and W. Dietsche. Phys. Rev. B 83, 075309 (2011).
- V.M. Muravev, P.A. Gusikhin, I.V. Andreev, and I.V. Kukushkin. Phys. Rev. B 87, 045307 (2013).

Измерение транспортных свойств Bi₂Te₂Se: квазидвумерные носители заряда.

<u>Капустин Александр¹</u>

¹Институт Физики Твердого Тела РАН, г. Черноголовка

В последние несколько лет возрос интерес к исследованиям слоистых халькогенидов висмута, в связи с предсказанием того, что эти материалы являются топологическими изоляторами[1]. В частности интерес к Bi₂Te₂Se обусловлен тем, что этот материал имеет сравнительно высокое удельное сопротивление (~1Oм*см), и в его транспортных свойствах предположительно проявляются эффекты связанные с поверхностными состояниями. Для того, чтобы разделить

вклалы поверхностных и объемных носителей в транспортные свойства Bi₂Te₂Se измерения проведены разных образцов в диапазоне толщин t =30÷200 µm, в которых удалось наблюдать осцилляции Шубникова-деГааза, имеющие близкие периоды и положения в обратном магнитном поле. Позиции оснилляний только от компоненты магнитного поля. перпендикулярной плоскости слоев(Рис.1), и они пропадают при повороте поля вдоль слоев. Более наблюденные того. осниллянии близки по положению в магнитном поле к осцилляциям, наблюденным в Ві₂Те₂Se другими авторами [2]. Эти данные свидетельствуют о транспортных TOM. что в свойствах Bi₂Te₂Se эффекты, наблюдаются



Рис. Квазидвумерные осцилляции Ί. Шубникова-де-Гааза в образце Ві2Те2Se с большим удельным сопротивлением (р~0.2Ом*см). Еше нескольких в образцах наблюдать удалось аналогичные имеющие осцилляции. такие же позиции в магнитном поле.

обусловленные поверхностными носителями.

Этому выводу не противоречит и наблюдение сублинейного по магнитному полю эффекта Холла, который, следуя авторам [2], мы описали теоретически, используя модель с двумя независимыми пространственно разделенными группами носителей (объемные и двумерные электроны). Сопротивление на квадрат 2D электронов в образцах, полученное из этой модели, наших не зависит систематически от толщины t и характеризуется разбросом около среднего значения 3.6кОм. Данные сканирующей туннельной спектроскопии противоречат возможности не существования слоя обеднения между поверхностными и объемными носителями.

- 4. Liang Fu and C.L. Kane, Phys.Rev.B 76, 045302 (2007).
- 5. Zhi Ren, A.A. Taskin, Satoshi Sasaki, Kouji Segawa and Yoichi Ando, Phys.Rev.B 82, 241306(R) (2010).

Создание спиновой поляризации в двумерной электронной системе со спин-орбитальным взаимодействием при помощи электрического поля и ее детектирование ферромагнитными контактами

<u>А.А. Кононов</u>¹, С.В. Егоров¹, G. Biasiol², L. Sorba³, и Э.В. Девятов¹ ¹ Институт физики твердого тела РАН, г. Черноголовка ² IOM CNR, Laboratorio TASC, Trieste, Italy ³ NEST, Instituto Nanoscienze-CNR and Scuola Normale Superiore, Pisa, Italy

Повышенный интерес к исследованию гибридных структур сверхпроводник – электронная система пониженной размерности со спин-орбитальным взаимодействием связан с поиском майорановских фермионов. Другой причиной популярности гибридных систем является наличие нетривиальных физических эффектов, вызванных влиянием параметра порядка в сверхпроводнике на электронную систему.

Не менее интересно исследовать гибридную структуру, в которой сверхпроводник заменен ферромагнетиком – другим металлом с макроскопическим параметром порядка. Ферромагнитные контакты позволяют инжектировать и детектировать спин-поляризованные электроны. Это важно, например, для транспортного исследования спинового эффекта Холла. Он проявляется в двумерных электронных системах со спин-орбитальным взаимодействием, как появление конечной спиновой поляризации по краям образца, при приложении продольного электрического поля [1].

Мы экспериментально исследовали электронный транспорт через контакт между ферромагнетиком и краем двумерной электронной системы со спин-орбитальным взаимодействием типа Рашбы. Мы обнаружили нелинейность транспорта в области малых напряжений при низкой температуре. Нелинейность отсутствует выше некоторых критических значений температуры, напряженности магнитного поля и тока через контакт. Полученные результаты свидетельствуют о спиновой аккумуляции, вызванной спиновым эффектом Холла. При этом критический ток определяется перемагничиванием ферромагнетика поляризованным током из областей спиновой аккумуляции. (Частично опубликовано PRB **89**, 075312 (2014)).

1. C. Brune, A. Roth, E.G. Novik, et al. Nature Physics, **6**, 448 (2010).

Локальные методы исследований

Наноструктурированный графен на поверхности кубического карбида кремния SiC(001)

 <u>А.Н. Чайка</u>^{1,2}, О. Молодцова³, А. Варыхалов⁴, Д. Марченко^{4,5}, J. Sánchez-Barriga⁴, P. Mandal⁴, А. Захаров⁶, Yukan Niu⁶, С.В. Бабенков³, М. Portail⁷, М. Zielinski⁸, В.Е. Мигрhy², И.В. Швец², В.Ю. Аристов¹

 ¹Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Россия

 ²CRANN and School of Physics, Trinity College, Dublin, Ireland

 ³HASYLAB at DESY, Hamburg, Germany

 ⁴Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Berlin, Germany

 ⁵Freie Universität Berlin, Berlin, Germany

 ⁶MAX-lab, Lund University, Lund, Sweden

 ⁷CNRS-CRHEA, Valbonne, France

 ⁸NOVASiC, Savoie Technolac, Le Bourget Du Lac Cedex, France

 Уникальные
 физические

перспективным материалом для элементной базы микро-И наноэлектроники. Ранее была показана возможность синтезировать графен [1.2] на поверхности тонких (микронной толшины) монокристаллических пленок кубического карбида кремния SiC(001), выращенных на стандартных пластинах Si(001) большого диаметра (более трехсот миллиметров). Такие пластины SiC(001)/Si(001) коммерчески доступны, поэтому синтез графена на них представляет собой шаг на пути массового производства графена для электроники.

В докладе представлены результаты исследования атомной и электронной структуры графена, синтезированного на поверхности SiC(001) в условиях сверхвысокого вакуума. Атомная и электронная структура графена, синтезированного на низко- и высокоиндексных (вицинальных) поверхностях SiC(001), были изучены методами туннельной сканирующей микроскопии (CTM), электронной микроскопии низких энергий, дифракции медленных электронов и фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением. Полученные данные демонстрируют возможность синтеза трехслойного графена однородной толщины на тонких пленках кубического карбида кремния SiC(001)/Si(001) миллиметрового размера [3,4]. С помощью СТМ высокого разрешения и электронной спектроскопии показано, что графеновое покрытие трехслойное на SiC(001) состоит ИЗ vпорядоченной системы нанодоменов (Рис. 1(b)), с границами раздела, ориентированными вдоль ортогональных направлений направлений [110] и [1-10], лежащих в плоскости SiC(001). При использовании вицинальной поверхности SiC(001) удается синтезировать графен с

одним предпочтительным направлением границ раздела нанодоменов, которое совпадает с направлением ступеней на поверхности до синтеза графена (Рис. 1(а)). Отдельные домены обладают атомной структурой (врезка на Рис. 1(b)) и электронным спектром, характерными для квазисвободного трехслойного графена ABA-типа. Данные СТМ с атомным разрешением показывают корреляцию атомной структурой поверхности SiC(001) до и после синтеза графенового покрытия и могут быть использованы для оптимизации синтеза графена на пластинах SiC(001)/Si(001).



Рис. 1. (а) СТМ-изображение вицинальной поверхности кубического карбида кремния SiC(001)3×2 до синтеза графенового покрытия. (b) СТМ-изображения наноструктурированного графена на пластинах SiC(001)/Si(001). Размер изображения на врезке – 4.6×4.6 нм². Направление границ раздела доменов близко к направлению [110] в пленке карбида кремния.

Работа выполнена при поддержке программ Президиума РАН, грантов РФФИ (проекты № 11-02-01256, 14-02-01234, 11-02-01253, 14-02-00949) и гранта Марии Кюри Европейской рамочной программы FP7.

- V. Yu. Aristov, G. Urbanik, K. Kummer, D. V. Vyalikh, O. V. Molodtsova, A. B. Preobrajenski, A. A. Zakharov, C. Hess, T. Hänke, B. Büchner et al. Nano Letters, 10, 992 (2010).
- A. Ouerghi, M. Ridene, A. Balan, R. Belkhou, A. Barbier, N. Gogneau, M. Portail, A. Michon, S. Latil, P. Jegou, et al. Phys. Rev. B, 83, 205429 (2011).
- A. N. Chaika, O. V. Molodtsova, A. A. Zakharov, D. Marchenko, J. Sanchez-Barriga, A. Varykhalov, I. V. Shvets, V. Yu. Aristov. «Continuous Wafer-Scale Graphene on cubic-SiC(001)». Nano Research, 6, 562 (2013).
- A. N. Chaika, O. V. Molodtsova, A. A. Zakharov, D. Marchenko, J. Sánchez-Barriga, A. Varykhalov, S. V. Babenkov, M. Portail, M. Zielinski, B. E. Murphy, S. A. Krasnikov, O. Lübben, I. V. Shvets, and V. Yu. Aristov. Nanotechnology, 25, 135605 (2014).

Релаксация напряжений в светоизлучающих структурах InGaN/GaN при облучении низкоэнергетичным электронным пучком.

<u>Вергелес П.С.</u>¹ ¹ИПТМ РАН, 142432, Черноголовка

Методы растровой электронной микроскопии (РЭМ) широко используются для локальной диагностики полупроводниковых материалов и различных структур на их основе, в том числе и светолиолов на основе

светодиодов на квантовых множественных ям (MKЯ) InGaN/GaN. Олнако в работах [1,2] было обнаружено, что ллительное облучение электронным пучком или изображения получение фрагмента исследуемого образца большом при увеличении приводит существенному к спектра изменению катодолюминесценции (КЛ) этих структур (Рис. 1). Видно, что после облучения происходит интенсивности повышение люминесценции и сдвиг полосы излучения, связанной с КЯ, к большим энергиям. Таким



Рис. 1. Спектры КЛ светоизлучающей структуры до облучения (1) и после облучения с дозой 0.53 (2) и 4.7 Кл/см² (3).

образом этот эффект может существенно влиять на результаты исследования таких структур методами РЭМ, особенно при больших увеличениях, что является необходимым условием при характеризации объектов с нанометровыми размерами. Механизмы, приводящие к таким изменениям оптических свойств, до сих пор не ясны.

Известно, что из-за несоответствия параметров решетки GaN и InGaN в КЯ, выращенных вдоль оси с, возникают сжимающие тангенциальные напряжения, которые увеличивают энергию межзонного перехода И приводят к возникновению поля пьезоэлектрической поляризации, напряженность которого может превышать 1 МВ/см. Это поле уменьшает энергию излучения и уменьшает его интенсивность за счет квантово-размерного эффекта Штарка. Обычно влияние пьезоэлектрического поля преобладает, что приводит к результирующему уменьшению энергии излучения. И во многих работах наблюдаемые изменения спектра люминесценции при облучении электронами низкой энергии объясняли за счет тех или иных механизмов подавления электрического поля в КЯ. Поскольку в структурах с множественными КЯ InGaN/GaN приложенное к структуре обратное смещение приводит к компенсации поля пьезоэлектрической поляризации, исследования зависимости спектров люминесценции от приложенного напряжения позволяют оценить поле пьезоэлектрической поляризации. Таким образом, можно было надеяться, что такие исследования помогут прояснить вклад изменения поля пьезоэлектрической поляризации в модификацию оптических свойств КЯ при их облучении электронами подпороговой энергии.

В настоящей работе проведены исследования влияния облучения электронами подпороговой энергии на зависимости спектра катодолюминесценции КЯ от приложенного к структуре обратного смещения. Из полученных в результате исследований данных представляется, что наиболее вероятными причинами изменения зависимости оптических свойств квантовых ям при облучении низкоэнергетичными электронами являются диффузия водорода из p-GaN при малых дозах облучения и релаксация напряжений в локальных областях квантовых ям при больших дозах.

- 1. Vergeles P.S., Shmidt N.M., Yakimov E.E., Yakimov E.B., Phys. Stat. Sol. C, 8, №4, 1265-1268, 2011.
- 2. Shmidt N.M., Vergeles P.S., Yakimov E.E., Yakimov E.B., Solid State Commun., 151, 208–211, 2011.

Теория микро- и наноструктур Эффект агломерации и хаотическая динамика в клеточно-автоматных моделях кинетики на поверхности микросферы.

И.В. Матюшкин¹, <u>Р.Р. Вильданов²</u>, С.В. Коробов³. ¹ОАО "НИИ молекулярной электроники и "Микрон",²Московский физикотехнический институт, ³Национальный исследовательский университет "МИЭТ"

Интерес к клеточно-автоматным (КА) [1] моделям на сфере обусловлен потребностями моделирования физико-химических процессов в наноструктурированных материалах, в частности пористых, обладающих развитой поверхностью раздела. Простейшим примером таких процессов является бимолекулярная реакция типа А+В→С. В этом случае нанореактор может быть представлена сферической порой с примыкающей к ней каналом. Внутрь замкнутого пространства поступают реагенты (А и В), а на выходе получается продукт С.

В нашей работе мы исследуем одну асинхронную вероятностную КА-модель на нескольких сетках на сфере. Ее физический смысл состоит в описании гетерофазной бимолекулярной реакции $A+B\rightarrow C$, почти необратимо протекающей на внутренней поверхности поры, в объеме которой содержится небольшое депо реагентов A и B. Ячейка КА может находиться в одном из 5 состояний – {0,A,B,A+B,C}, правила перехода парные и задаются таблицей.



Рис. 1. Полушария кубированной сферы, вид на 3000 ходу. Наблюдается агломерация реагента А (зеленый цвет) в реагенте В (фиолетовый). На границах наблюдаются продукты реакции.

1. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов. // Москва: Мир. – 1991.

Фононный спектр SrCl₂: ab initio pacчет

А.В. Сердцев, В.А. Чернышев

УрФУ, Екатеринбург

Хлорид стронция SrCl₂, активированный редкоземельными ионами, привлекает внимание исследователей как лазерный материал [1], и при этом является удобным модельным объектом. Для интерпретации электронного спектра редкоземельного примесного центра необходима информация о частотах и типах колебаний фононных мод SrCl₂. В работе проведен ab initio расчет фононного спектра SrCl₂ методами Хартри-Фока, а также в рамках теории функционала плотности (DFT) с использованием ряда функционалов.

Расчеты были проведены в программе CRYSTAL09[2]. предназначенной для моделирования периодических структур в приближении MO ЛКАО. Для хлора были использованы полноэлектронные базисные наборы [3,4] для стронция псевдопотенциал ECP28MWB[5] с валентным базисным набором.

Такое приближение в сочетании с гибридным DFT функционалом B3LYP позволяет хорошо описать зонную структуру SrCl₂: отклонение от экспериментальных данных – 8-9%. Последовательно были рассчитаны кристаллическая структура и фононный спектр с учетом LO-TO расщепления. Определены типы колебаний. Показано, что в KP-активной F_{2g} моде участвуют только ионы хлора.

Результаты расчетов могут быть использованы для интерпретации спектра редкоземельных примесных центров в SrCl₂.

J. Grimm, O. S. Wenger, K. W. Kramer, and H. U. Gudel, J Lumin. 126, 590 (2007).

- Dovesi, R.; Saunders, V.R.; Roetti, C.; Orlando, R.; Zicovich-Wilson, C.M.; Pascale, F.; Civalleri, B.; Doll, K.; Harrison, N.M.; Bush, I.J.; D'Arco, Ph.; Llunell, M. 2009, CRYSTAL09 User's Manual, University of Torino, Torino, Italy
- 2. E. Apra, M. Causa , M. Prencipe, R. Dovesi and V.R. Saunders, J. Phys. Condens. Matter 5, 2969-2976 (1993).
- M. F. Peintinger, D. Vilela Oliveira, and T. Bredow Journal of Computational Chemistry 2012, DOI: 10.1002/jcc.23153
- 4. Energy-Consistent Pseudopotentials of the Stuttgart, http://www.theochem.uni-stuttgart.de/pseudopotentials/clickpse.en.html

Квантово-химические расчеты малых кремниевокислородных кластеров.

 $И.В. Матюшкин^{1}$, <u>H.B. Евстратов</u>²

¹ОАО «НИИ молекулярной электроники, Москва, Зеленоград,

124460, 1-й Западный проезд, 12/1, эл. почта: imatyushkin@mikron.ru

² Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный,

141707, Институтский пер., 9, эл. почта: nekit05@mail.ru

Расчеты исследуемых кластеров необходимы в современной микрои нано-электронике, например: 1) в подзатворной системе Si/SiO₂ и присущим ей пограничном/переходном [1], формирующемся при и после термическом окисления, слое субоксидов SiO_x; 2) в межфазной границе кремний – high-К диэлектрике, способной к накоплению заряда; 3) в межфазных границах в Si/SiO₂-сверхрешетках или системе «nc-Si/SiO₂»; 4) в SiMOX-технологии; 5) в кислородных преципитатах; 6) в резистивной памяти на основе SiO_x; 7) в нанопроволочных Si(ядро)/SiO₂(покрытие) интерфейсами структурах с или лаже SiO₂(провод)/Si(подложка). В астрофизике звездной пыли также изучаются такие кластеры [2]. За последние два десятилетия накоплен большой опыт [3] моделирования Si_nO_m-кластеров, в том числе и авторами доклада [4], однако вариативность условий их формирования И полиморфность изомеров ведут к неполноте получаемых результатов.

В докладе обозреваются некоторые важные результаты, полученные рацее а также представлены несколько расчетов авторов.



 Расчет кластера (Si₄O₁₀)(+4H) для гации объема SiO₂ в программе HyperChem Initio Method, Basis Large 6-31G**).
 гчневыми шарами обозначен кислород, ми – водород и серыми – кремний.
 гзаны длины связей между атомами.



Рис. 2. Расчет кластера Si₆O₈ методом Хартри-Фока в базисе STO-3G в программе HyperChem. Коричневыми шарами обозначен кислород, синими – водород и серыми – кремний. Показаны заряды атомов.

- Г.Я. Красников, Н.А. Зайцев, И.В. Матюшкин. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2003. № 2. С. 98-104.
- Marcus John. PhD, 2003, Berlin, 241p. http://opus4.kobv.de/opus4tuberlin/files/628/john marcus.pdf
- И. В. Матюшкин, Р. Р. Хабутдинов. Квантово-химические расчеты олигомерных кластеров (Si₂O₂)_n. Материалы восьмой международной научной конференции «Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация как форма самоорганизации вещества». Июнь 2014, Иваново.

Оглавление

«Пассивация поверхности InAs(111)A при анодном окислении во фторсодержащих средах» <u>М.С. Аксенов</u> , Н.А. Валишева, Т.А. Левцова, А.Ю. Широков, В.А. Голяшов, С.Е. Хандархаева, О.Е. Терещенко	Cmp 8
«Метод поиска изобар адсорбции углеродных соединений выбранных для криогенного травления пористых low-k диэлектриков». <u>А.А. Резванов</u> , К.П. Могильников, О.П. Гущин.	Стр. 10
«Обнаружение паров этанола с помощью графеноподобных пленок». <u>Седловец Д.М</u> ., Редькин А.Н.	Стр. 11
«Синтез гибридных структур ZnO-MgO». <u>М.В. Рыжова</u> , Е.Е. Якимов, А.Н. Редькин.	Стр. 12
«Включение флуоресцентных красителей различного типа в состав оболочек полиэлектролитных капсул методом последовательной адсорбции». <u>И.В. Марченко</u> , Т.В. Букреева	Cmp. 14
«Сегнетоэлектрические свойства тонких пленок Hf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ , выращенных методом атомно-слоевого осаждения». <u>А.Г. Черникова</u> , М.Г. Козодаев, А.М. Маркеев, А.В. Заблоцкий.	Cmp.15
«Мультимасштабные фотонные структуры». <u>С.В. Жуковский</u> .	Cmp.16
«Длинноволновая фотолюминесценция и перспективы создания лазеров в CdHgTe структурах» <u>Морозов С.В</u>	Cmp.18
«Использование квантовых эффектов для подавления туннелирования в полупроводниковых нанотранзисторах» Попов В.Г.	Cmp.20
«Элементы энергонезависимой памяти ReRAM на основе функционального слоя из оксида тантала». <u>Киселёва И.В.,</u> Шадрин А.В., Заблоцкий А.В., Киртаев Р.В., Зайцев С.А.	Cmp.22
«Резистивное переключение в МИМ-структурах, полностью выращенных атомно-слоевым осаждением». <u>К.В.Егоров</u> , А.М. Маркеев, Р.В. Киртаев, О.М. Орлов, Ю.Ю. Лебединский, А.В. Заблоцкий.	Cmp.23

«Эффект переключения электрической проводимости в структурах металл-диэлектрик-металл на основе нестехиометрического оксида кремния» <u>П.С. Захаров</u> , А.Г. Итальянцев	Cmp.24
«Математическая модель ячейки энергонезависимой FLOTOX памяти». Д.Д. Воронов , О.М. Орлов.	Cmp.25
«Принципы функционирования элементов энергонезависимой памяти с запоминающей средой на основе нитрида кремния» Измайлов Р.4 . Орлов О М	Cmp.26
«Спиновый фильтр на основе открытой системы с квантовой точкой». <u>Г.Г. Исупова</u> , А.И. Малышев	Cmp.27
«Электрохимические интегральные микросхемы, технология и применение» . В.Г. Криштоп	Cmp.28
«Исследование перспективной технологии и конструкций микросхем высокочастотных импульсных преобразователей напряжения с частотой переключения силового клюца семие 10 МГи». Силаев 4 А	Cmp.30
«Магнитоупругое и обменное взаимодействия в устройствах магниторезистивной памяти нового поколения». Д.Л. Винокуров.	Cmp.31
«Многоэлементные SSPD детекторы». <u>Э.Р. Хан</u> , А.В. Дивочий, В.А. Селезнев, К.В. Смирнов.	Стр.33
«Джозефсоновские переходы с нанонитями в качестве слабой связи». <u>Скрябина О.В.</u> , Егоров С.В., Гончарова А.С., Напольский К.С., Батов И.Е., Рязанов В.В., Столяров В.С.	Cmp.35
«Сверхпроводниковый NbN приёмник терагерцового излучения на основе криогенного рефрижератора замкнутого цикла». <u>Васяков А.А.</u> , Пентин И.В., Вахтомин Ю.Б., Смирнов К.В.	Cmp.36
«Исследование SSPD приемника, оптимизированного под работу в диапазоне длин волн от 700 до 1200 нм». Ф.И. Золотов , Ю.Б. Вахтомин, А.В. Дивочий, В.А. Селезнев, К.В. Смирнов.	Cmp.38

«Дробовой шум и электрон-электронные корреляции в мезоскопических полупроводниковых структурах». <u>Е.С. Тихонов</u> , В.С. Храпай, Д.В.Шовкун	
«Обнаружение нового слабо затухающего плазменного возбуждения в двумерной электронной системе» В.М. Муравьёв, <u>П.А. Гусихин</u> , И.В. Кукушкин.	Cmp.40
«Измерение транспортных свойств Bi ₂ Te ₂ Se: квазидвумерные носители заряда». <u>Капустин А.А.</u>	Cmp.42
«Создание спиновой поляризации в двумерной электронной системе со спин-орбитальным взаимодействием при помощи электрического поля и ее детектирование ферромагнитными контактами». <u>А.А. Кононов</u> , С.В. Егоров, G. Biasiol, L. Sorba, и Э.В. Девятов.	Cmp.44
«Наноструктурированный графен на поверхности кубического карбида кремния SiC(001)» <u>А.Н. Чайка</u> , О. Молодцова, А. Варыхалов, Д. Марченко, Ј. Sánchez- Barriga, P. Mandal, А. Захаров, Yukan Niu, С.В. Бабенков, M. Portail, M. Zielinski, B.E. Murphy, И.В. Швец, В.Ю. Аристов	Cmp.45
«Релаксация напряжений в светоизлучающих структурах InGaN/GaN при облучении низкоэнергетичным электронным пучком». <u>Вергелес П.С.</u>	Cmp.47
«Эффект агломерации и хаотическая динамика в клеточно-автоматных моделях кинетики на поверхности микросферы» И.В. Матюшкин, Р.Р. Вильданов , С.В. Коробов.	Cmp.49
«Фононный спектр SrCl ₂ : ab initio pacчет» <u>А.В. Сердцев,</u> В.А. Чернышев	Cmp.50
«Квантово-химические расчеты малых кремниево- кислородных кластеров». И.В.Матюшкин, Н.В.Евстратов.	Cmp.51

Список участников

A	
Аксенов Максим Сергеевич	Cmp 8
ФГБНУ Институт физики полупроводников им. А.В.	
Ржанова СО РАН	
m.se.aksenov@gmail.com	
В	
Васяков Алексей Александрович	Cmp.36
МПГУ факультет ФиИТ	-
pisma-33@yandex.ru	
Вергелес Павел Сергеевич	Cmp.47
ИПТМ РАН	-
vergeles@iptm.ru	
Вильданов Руслан Раилевич	Cmp.49
ОАО "НИИ молекулярной электронии и "Микрон"	1
rvildanov@mikron.ru	
Винокуров Дмитрий Леонидович	Cmp.31
МГТУ МИРЭА	-
2vinokurov@mail.ru	
Воронов Даниил Дмитриевич	Cmp.25
НИИМЭ и Микрон	-
<u>voronovdd@gmail.com</u>	
Γ	
Гусихин Павел Артурович , Институт физики твердого	Cmp.40
тела Российской академии наук	
gpshir@gmail.com	
E	
Евстратов Никита Владимирович	Cmp.51
ОАО "НИИМЭ и Микрон"	
Егоров Константин Викторович	Cmp.23
МФТИ	
egorov.constantin@gmail.com	
\mathcal{K}	
Жуковский Сергей Владимирович	Cmp.16
Датский технический университет, Институт фотоники	
sezh@fotonic.dtu.dk	

3

Захаров Павел Сергеевич	Cmp.24
ОАО "НИИМЭ и Микрон"	
pzakharov@mikron.ru	
Золотов Филипп Игоревич	Cmp.38
3AO «Сверхпроводниковые Нанотехнологии»	1
zolotovphilipp@gmail.com	
И	
Измайлов Роман Александрович	Cmp.26
ОАО "НИИМЭ", Кафедра микро- и наноэлектроники МФТИ	1
rizmaylov@mikron.ru	
Исупова Галина Геннадьевна	<i>Cmp.27</i>
Нижегородский государственный университет им. Н.И.	1
Лобачевского	
isupova@phys.unn.ru	
<i>L</i> '	
Kanyemuu Azareauda Aztormoruu	Cmn 12
Мистит Алексинор Аловертович Институт Физики Теардого Тела РАН	Cmp.+2
kapustinaisen ac m	
Киселёва Ипина Владимировна	Cmn 22
МФТИ	<i>Cmp.22</i>
irinavkis@@mail.com	
Kononoe Anmen Azercandnoenn	Cmn 44
ИФТТ РАН	Cmp.44
kononovalissn ac m	
Knuumon Braduwun Enuzonteeuu	Cmp 28
ППТМ РАН	<i>Cmp</i> .20
hiiiin An	
<u>Krisniop(wipim.ru</u>	
M	
Марченко Ирина Валерьевна	Cmp.14
НИЦ "Курчатовский институт"	
iramarchenko85@mail.ru	
Морозов Сергей Владимирович	Cmp.18
ИФМ РАН	
Нижний Новгород	
more@ipm.sci-nnov.ru	
Π	
Попов Владимир Геннадьевич	~ ·
Институт проблем технологии микроэлектроники РАН	Cmp.20
<u>popov(a),iptm.ru</u>	
Р	

Микро-, нанотехнологии и их применение 2014

Резванов Аскар Анварович		Cmp.10
ОАО "НИИМЭ"		1
askar.rezvanov@gmail.com		
Рыжова Мария Васильевна		
Институт проблем технологии м	икроэлектроники РАН	Cmp.12
ryzhova@iptm.ru		-
	С	
Седловец Дарья Михайловна ИПТМ РАН		Cmp.11
sedlovets@iptm.ru		
Сердцев Александр Вячеславович УрФУ		Cmp.50
saxara1994@yandex.ru		
Силаев Александр Александрович		Cmp.30
asilaev@mikron.ru hu954a@omail	com	
Скрябина Ольга Викторовна		Cmn 35
<i>ΜΦΤΤ ΡΑΗ</i>		Cp.50
skrvabina@issp.ac.ru		
	Т	
Тихонов Евгений Сергеевич		Cmp.39
Институт Физики Твердого Тела ienek t@mail ru	1	1
<u>jenen. (ee, man. nu</u>	X	
Хан Эмилия Романовна ГБОУ ВПО МПГУ		Cmp.33
kniazhnaemma@9mail.com		
	Ч	
Чайка Александр Николаевич ИФТТ РАН	-	Cmp.45
chaika@issp.ac.ru		
Черникова Анна Георгиевна blacknikova@gmail.com		Cmp.15