

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПРАВИТЕЛЬСТВО НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**МАТЕРИАЛЫ
53-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

МНСК–2015

11–17 апреля 2015 г.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

**Новосибирск
2015**

УДК 53
ББК 22.3

Материалы 53-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2015: Квантовая физика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2015. 110с.

ISBN 978-5-4437-0356-5

Конференция проводится при поддержке Сибирского отделения Российской академии наук, Правительства Новосибирской области, инновационных компаний России и мира, Фонда «Эндаумент НГУ», Ассоциации выпускников «СОЮЗ НГУ»

Научный руководитель секции –
д-р физ.-мат. наук, член.-корр. РАН, проф. А. В. Латышев
Председатель секции – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Тайченайчев
Ответственный секретарь секции – канд. физ.-мат. наук А. А. Блошкин

Экспертный совет секции:
д-р физ.-мат. наук, член.-корр. РАН, проф. А. В. Латышев
д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Тайченайчев
д-р физ.-мат. наук, проф. Л. В. Ильичев
д-р физ.-мат. наук, проф. П. Л. Чаповский
канд. физ.-мат. наук, доцент И. И. Бетеров
канд. физ.-мат. наук, доцент В. В. Петров
канд. физ.-мат. наук Д. В. Бражников
д-р физ.-мат. наук, доцент, И. И. Рябцев
д-р физ.-мат. наук, проф. В. Л. Альперович
д-р физ.-мат. наук, проф. Квон Зе Дон
канд. физ.-мат. наук А. А. Блошкин
д-р физ.-мат. наук, проф. С. И. Эйдельман

ISBN 978-5-4437-0356-5

© Новосибирский государственный
университет, 2015

**NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY
SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
NOVOSIBIRSK OBLAST GOVERNMENT**

**PROCEEDINGS
OF THE 53rd INTERNATIONAL STUDENTS
SCIENTIFIC CONFERENCE**

ISSC-2015

April, 11–17, 2015

QUANTUM PHYSICS

**Novosibirsk, Russian Federation
2015**

Proceedings of the 53rd International Students Scientific Conference.
Quantum physics / Novosibirsk State University. Novosibirsk, Russian
Federation. 2015. 110 pp.

ISBN 978-5-4437-0356-5

The conference is held with the significant support of Siberian Branch of
Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Oblast Government, innovative
companies of Russia, Fund “Endowment NSU”, NSU Alumni Union.

Section scientific supervisor –

Dr. Phys.Math, Corr. Mem. RAS, Prof. A. V. Latyshev
Section head – Dr. Phys.-Math., Prof. A. V. Taychenaychev
Responsible secretary – Cand. Phys.-Math. A. A. Bloshkin

Section scientific committee:

Dr. Phys.Math, Corr. Mem. RAS, prof. A. V. Latyshev
Dr. Phys.-Math., Prof. A. V. Taychenaychev
Dr. Phys.-Math., Prof. L. V. Ilichev
Dr. Phys.-Math., Prof. P. L. Chapovsky
Cand. Phys.-Math., Assoc. Prof. I. I. Beterov
Cand. Phys.-Math., Assoc. Prof. V. V. Petrov
Cand. Phys.-Math. D. V. Brazhnikov
Dr. Phys.-Math., I. I. Ryabtsev
Dr. Phys.-Math., Prof. V. L. Alperovich
Dr. Phys.-Math., Prof. Kwon Ze Don
Cand. Phys.-Math. A. A. Bloshkin
Dr. Phys.-Math., Prof. S. I. Adelman

ISBN 978-5-4437-0356-5

© Novosibirsk State University, 2015

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

UDC 539.1.01

ON THE QUANTUM THEORY OF ABSOLUTE ZERO TEMPERATURE

V. I. Kichibekov

North-Eastern Federal University in Yakutsk

In this paper, we considered the crystal with a hexagonal lattice. It is known that at absolute zero temperature occurs in the system freezing all degrees of freedom, ie completely stop all internal vibrations. However, for an electron moving in a Bohr orbit, this fact does not hold. Each electron, according to [1], has $1/\alpha$ degrees of freedom, where α — introduced by Sommerfeld fine structure constant. Now we need to take into account that the electrons move in the opposite direction, so that the number of degrees of freedom doubled. Thus, to achieve a temperature of absolute zero, we have to take from our neutral system (crystal must be electrically neutral) consisting of a single proton and electron, $-(2/\alpha - 1)$ degrees of freedom. We subtracted the one to ignore the rotational motion.

Therefore, to find the temperature of absolute zero $T_0 = -(2/\alpha - 1)$ degrees. Substituting $T_0 = -273$, we find that $\alpha = 1/137$. This value is within the experimental error is in remarkable agreement with the previously known value. It is easy to show that this result is independent of the structure of the crystal lattice.

1. Ralf Betzholtz, Juan Mauricio Torres, Marc Bienert, Quantum optical master equation for solid-state quantum emitters, Phys. Rev. A 90, 2014

Scientific advisor: professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.)V. V. Beskrovanov.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ГАЛОГЕНИД КРИСТАЛЛА CsRbPb₂I₆ В РАМКАХ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

Б. К. Абдыкадыров

Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

Перовскиты АВХ₃-типа широко исследуются из-за того, что они демонстрируют разнообразные интересные электронные, электромеханические и проводные свойства, которые являются основой для многих существующих и потенциальных областей применения.

В рамках теории функционала плотности были проведены расчеты структурных свойств, электрических свойств и поляризации перовскита CsRbPb₂I₆(100). Вычисления проводилось в рамках формализма обменно-корреляционного функционала обобщенного градиента (GGA) в параметризации Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) [1] и гибридного обменно-корреляционного функционала PBE0 с использованием программного пакета VASP [2].

Структура перовскита CsRbPb₂I₆(100) по состоит из двух А катионов - Cs и Rb, В катиона – Pb и X аниона – I. Имеет орторомбическую фазовую структуру, так как это структура является наиболее стабильной.

Электрон-ионное взаимодействие рассчитано в формализме плоских волн с граничной кинетической энергией плоских волн (E_{cut}) 520 eV. Для вычисления волновой функции электронов в *k*-пространстве использовалась сетка размером 5 × 5 × 4 (2000 точек) и метод Монкроста-Пака. После оптимизации структуры получены размеры ребер: a = 8.626 Å, b = 9.087 Å, c = 12.52 Å.

Было определено, что структура CsRbPb₂I₆(100) в орторомбической фазе обладает широкой запрещенной зоной с прямым переходом и ширина запрещенной зоны равна 1.888 eV для PBE и 2.68 эВ для PBE0. Структура обладает спонтанной поляризацией (P_s), вызванной смещением октаэдра Pb-I. Величина P_s = 22 мк/см².

1. Perdew J.P., Burke K., Ernzerhof M. Phys. Rev. Lett. 1997. V. 78. № 7. P. 1396.
2. Kresse G., Furthmüller J. Computational Materials Science. 1996. V. 6. № 1. P. 15–50.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, акад. НАН РК Н. Ж. Такибаев

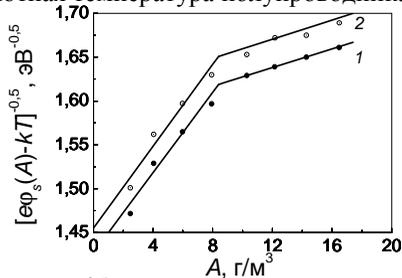
ЗАВИСИМОСТЬ ИЗГИБА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН НА ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА МИКРОКРИСТАЛЛОВ SnO₂ В ПЛЕНКЕ ДИОКСИДА ОЛОВА ОТ ВЛАЖНОСТИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

А. В. Алмаев

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Приведены результаты исследований стабильности характеристик сенсоров водорода на основе тонких (100 нм) пленок диоксида олова Pt/Pd/SnO₂:Sb при изменении уровня влажности газовой смеси.

Используя методику [1] определения изгиба энергетических зон $e\varphi_s$ на границах раздела микрокристаллов SnO₂ в пленке диоксида олова, e – заряд электрона, φ_s – поверхностный потенциал, исследована зависимость $e\varphi_s(A)$, где A – абсолютная влажность газовой смеси. Анализ экспериментальных данных (см. рисунок) показал, что на зависимости $[e\varphi_s(A)-kT]^{-0.5}$ имеется два линейных участка, где k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура полупроводника.



Зависимости $[e\varphi_s(A)-kT]^{-0.5}$ от абсолютной влажности чистого воздуха для двух сенсоров

На поверхности пленки SnO₂ присутствуют центры адсорбции двух типов для молекул воды. Роль таких центров играют поверхностные дефекты занятые ионами кислорода O²⁻ и O[•]. При $A < A_0$, где A_0 – абсолютная влажность соответствующая точке перегиба на рисунке, адсорбция молекул воды происходит на центры первого типа (O²⁻). При $A > A_0$ преобладает адсорбция молекул воды на центры второго типа (O[•]).

1. Гаман В.И., Севастьянов Е.Ю., Максимова Н.К. и др. Известия ВУЗов. Физика. – 2013. – Т.56. - №12. – С.96-102.

Научные руководители: д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. Гаман, канд. физ.-мат. наук Н. К. Максимова

КВАНТОВЫЙ ТРАНСПОРТ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ NbTiN

М. В. Бурдастых

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

Современные технологические методы позволяют изготавливать различные структуры квантового размера. Возможное применение таких структур поддерживает постоянный интерес исследователей к ним. С этой точки зрения, изучение и теоретическое описание механизмов квантового транспорта в тонких сверхпроводящих пленках уже давно привлекает внимание научного сообщества.

Данная работа посвящена всестороннему экспериментальному исследованию низкотемпературных свойств тонких пленок NbTiN. Для этого были измерены температурные и магнитополевые зависимости сопротивления пленок NbTiN различной толщины (3.5 – 50 nm) при температурах до 200 mK и в магнитных полях до 12 Т, а затем проведен анализ экспериментальных данных с привлечением теории квантовых вкладов в проводимость квазидвумерных систем.

В ходе выполнения работы было показано, что вклад в проводимость от слабой локализации, электрон-электронного взаимодействия в диффузионном канале, флуктуационного спаривания и когерентного рассеяния электронов существенно влияет на немонотонный характер сопротивления сверхпроводящих пленок.

В результате анализа для каждого образца были установлены основные параметры, такие как критическая температура, критическое поле, скорость Ферми, длина свободного пробега и коэффициент диффузии. Наряду с этим было рассмотрено существование двух конкурирующих квантовых эффектов: локализации и сверхпроводимости, и их влияние на квантовый транспорт, описанное с привлечением "бозонного" и "фермионного" подходов.

В работе было также рассмотрено влияние магнитного поля на сверхпроводящие свойства тонких пленок и произведено сопоставление полученных экспериментальных данных с теоретическими предсказаниями в рамках теории Бардина-Купера-Шриффера [1].

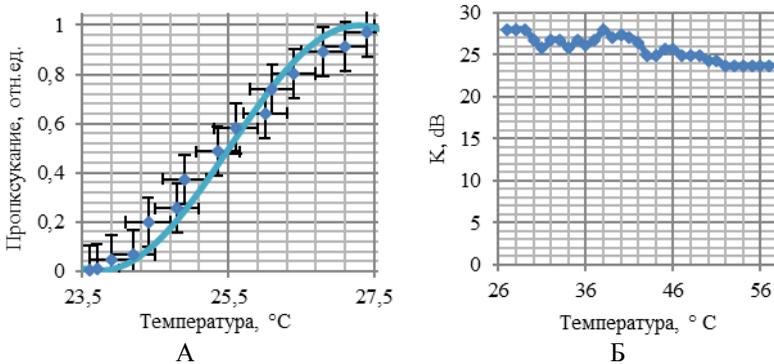
1. K. Maki. The critical fluctuation of the order parameter in type-II superconductors. Progress of theoretical physics – (1968).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ, ОСНОВАННЫХ НА КРИСТАЛЛЕ KTiOPO_4 (RKTP)

О. Т. Важинский, К. С. Тарасенко, М. В. Чуманов
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

В данной работе рассматривается температурная зависимость параметров ячейки Поккельса и электрооптического (ЭО) затвора, изготовленных из высокоомного кристалла KTiOPO_4 (RKTP), выращенного по технологии компании ООО «Кристалл Т».



А) Теоретическая кривая и экспериментальные данные зависимости пропускания ячейки Поккельса от температуры; Б) Экспериментальная кривая зависимости коэффициента контрастности ЭО затвора от температуры

Ячейка Поккельса – материал RKTP, габариты $6 * 6 * 10 \text{ мм}^3$. При изменении температуры на $3,7 \text{ }^\circ\text{C}$ пропускание ячейки Поккельса изменяется из полностью «закрытого» состояния в полностью «открытое». ЭО затвор – представляет собой два кристалла RKTP, повернутыми друг относительно друга на 90° вдоль оптической оси, с габаритными размерами: $6 * 6 * 10 \text{ мм}^3$. Коэффициент контрастности ЭО затвора при изменении температуры на 30°C не опускается ниже 23 дБ.

Научно-исследовательские работы проводились при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Научный руководитель: И. А. Паргачев

ТРАНСПОРТ В ОДНОМЕРНЫХ ЦЕПОЧКАХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК, ВЫРАЩЕННЫХ НА ГОФРИРОВАННОЙ ПОДЛОЖКЕ

В. В. Вальковский

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

Данная работа посвящена созданию структур с одномерными цепочками германиевых квантовых точек (КТ) на кремниевой подложке и исследованию механизмов переноса заряда в таких системах.

В работе [1] было показано, что в одномерном случае температурная зависимость прыжковой проводимости должна описываться законом Мотта $\ln G \sim -T^{-1/2}$. Однако согласно работе [2], учёт областей с низкой плотностью центров локализации в одномерной цепочке приводит к тому, что температурная зависимость прыжковой проводимости определяется энергией, необходимой для преодоления самого большого разрыва в цепочке, и описывается активационным законом $\ln G \sim -\Delta ET^{-1}$. Основной задачей, которая ставилась в данной работе, было определение механизмов транспорта, реализуемых в созданных нами структурах.

В ходе выполнения данной работы был применён оригинальный метод для формирования параллельных цепочек КТ германия на кремниевой подложке, структурированной с применением импринт-литографии и ионного травления. В основе данного метода лежит идея селективного травления облучённых областей кремния для создания гофрированной поверхности с заданным периодом (80 нм – ширина траншеи, 100 нм – расстояние между траншеями).

Экспериментально продемонстрирована сильная анизотропия проводимости (3-4 порядка) вдоль и поперёк цепочек КТ, что указывает на одномерный характер проводимости вдоль цепочек. Показано, что с повышением тянущего напряжения наблюдается переход от одномерной к квазиодномерной проводимости, предполагающей перенос заряда между соседними цепочками [3].

-
1. N. F. Mott, Phil. Mag. 19, 835 (1969)
 2. M. E. Raikh and I.M. Ruzin, Sov.Phys.JETP 68, 642 (1989)
 3. Z. H. Wang, A. Ray and A. G. MacDiarmid, A. J. Epstein, Phys.Rev. B 43, 4373 (1991).

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Н. П. Степина

ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ НА ОСНОВЕ АГРЕГАТОВ ЦИАНИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

С. А. Востриков

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

Цианиновые красители были синтезированы более 150 лет назад и широко используются в промышленности, однако возможность их применения в качестве фоточувствительных материалов начали исследовать лишь недавно. Главным преимуществом таких веществ является наличие относительно узкой полосы поглощения, то есть избирательности к цвету. А значит на их основе возможно создание светочувствительных матриц, солнечных элементов и т.д. Отсюда возникает потребность исследования свойств подобных веществ.

Таким образом, целью данной работы является определение оптических и электрофизических свойств плёнок цианиновых красителей. В связи с тем, что подобные плёнки обладают низкой термической и химической стабильностью, необходимо подобрать такую методику исследования, чтобы при измерениях не повреждать структуру поверхности.

В ходе работы исследовались плёнки агрегатов триэтиламмониевой соли, которые относятся к классу цианиновых красителей. Был развит подход определения оптических свойств полупрозрачных плёнок из совместного анализа их спектров пропускания и отражения, полученных с применением спектроскопии и эллипсометрии. Также было показано, что в качестве эталонного образца при исследовании спектров отражения лучше использовать полированную пластину монокристаллического кремния, так как слой естественного окисла на алюминиевых зеркалах менее стабилен, чем слой естественного окисла кремния. С помощью данного подхода были определены оптические константы исследуемых плёнок, а именно коэффициенты преломления, отражения и поглощения. К тому же была исследована фотопроводимость данных плёнок.

Таким образом, исследование свойств плёнок цианиновых красителей показало, что данные вещества весьма перспективны для использования в фоточувствительных устройствах.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент В. А. Володин

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ МАКЕТА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ P-N ПЕРЕХОДА ИЗ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ (A-SI:H) С ПРОЗРАЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ ИЗ ПЛЕНОК С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ.

М. С. Галков

Новосибирский государственный университет

Увеличение производства энергии до сих пор происходило в основном за счет использования ископаемых источников энергии — нефти, природного газа, угля, ядерного топлива. Однако удовлетворить дальнейший рост энергопотребления только за счет использования ископаемых источников невозможно. Одним из самых привлекательных и перспективных возобновляемых источников энергии является фотовольтаика, т. е. прямое преобразование солнечной энергии в электрическую. Обычно внешние прозрачные электроды для солнечных элементов (СЭ) изготавливаются из оксида индия олова (ITO). Т.к. редкоземельный металл индий стремительно убывает на Земле, а большая часть его запасов сосредоточена в Китае, то в настоящее время ищется альтернативная замена данному материалу. В качестве такой замены могут выступать углеродные нанотрубки (CNT). Основная идея данной работы – попытка использования прозрачного электрода из углеродных нанотрубок вместо дорогостоящих материалов типа ITO. Следующей главной задачей является создание p-n перехода за счет контактной разности электрохимических потенциалов аморфного кремния и углеродных нанотрубок. Это позволит избавиться ещё от одной дорогостоящей операции в производстве СЭ – формирование p-n переходов методом легирования. Основные преимущества использования CNT: простота изготовления элементов, низкие температуры получения элементов, дешевизна. На данный момент уже был создан макет СЭ в виде структуры Al-n⁺⁺-i-CNT (кремний осаждался методом PECVD), и при нулевом напряжении был получен фототок ~3мкА (площадь контакта составляла несколько квадратных мм). Также были выращены структуры на алюминии вида n⁺⁺-i-p⁺⁺, сверху покрытые ITO, где аморфный кремний n-типа был легирован мышьяком, а аморфный кремний p-типа легирован бором. На таких структурах плотность фототока была в несколько раз больше. В дальнейшем планируется оптимизация параметров данного СЭ и увеличение КПД структуры с внешним слоем CNT.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент В. А. Володин

СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ НАНОКРИСТАЛЛЫ $\text{Ge}_x\text{Si}_{(1-x)}$ В МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ GeO/SiO_2

М. П. Гамбарян

Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный технический университет

Полупроводниковые нанокристаллы (НК) в диэлектрических плёнках интересны как с фундаментальной точки зрения (квантовые точки), так и в качестве светоизлучающих элементов в оптоэлектронных устройствах. НК $\text{Ge}_x\text{Si}_{(1-x)}$ в диэлектрических плёнках являются гетероструктурами первого рода, свойства которых зависят от параметра стехиометрии x и размера.

В данной работе изучаются многослойные структуры GeO/SiO_2 , полученные поочерёдным испарением порошков GeO_2 и SiO_2 в высоком вакууме и напылением на холодную ($100\text{ }^\circ\text{C}$) подложку $\text{Si}(001)$. Образец состоит из десяти пар слоёв GeO/SiO_2 (4 нм/4 нм), закрытых защитным слоем SiO_2 (100 нм). Исходные и подвергнутые отжигу при температуре $800\text{ }^\circ\text{C}$ образцы исследовали методами ИК-спектроскопии, электронной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) и низкотемпературной фотолюминесценции (ФЛ).

В соответствии с полученными данными, исходные слои GeO_x близки по стехиометрии к монооксиду германия, после отжига слои SiO_2 и GeO перемешиваются, и образуется стекло $\text{Ge}_y\text{Si}_{(1-y)}\text{O}_2$. Образовавшиеся после отжига НК GeSi имеют размер около 5 нм и состав $\text{Ge}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$.

Зарегистрированы спектры низкотемпературной ФЛ от отожжённого образца. Образование НК GeSi ведёт к достаточно широкой полосе ФЛ в ИК области с пиком 1550 нм (0.8 эВ). Интенсивность пика слабо меняется при увеличении температуры от 14 до 30 К. При увеличении температуры до 80 К интенсивность уменьшается и совсем пропадает при температурах выше 80 К. В спектре наблюдается также узкая полоса с пиком 1613 нм (0.77 эВ), природа возникновения которой не совсем ясна, возможно, она обусловлена состояниями на границе $\text{GeSi}/\text{Ge}_y\text{Si}_{1-y}\text{O}_2$. Мы считаем НК GeSi в $\text{Ge}_y\text{Si}_{1-y}\text{O}_2$ гетероструктурой I типа. НК может представлять собой структуру ядро-оболочка – германиевое ядро и оболочка GeSi . Этот вопрос требует дальнейших исследований.

Таким образом, исследовано образование НК GeSi в многослойных структурах GeO/SiO_2 после отжига. Наблюдается фотолюминесценция в области 1500-1600 нм, обусловленная НК GeSi .

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент В. А. Володин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР МЕТОДОМ ФАЗОВЫХ ПОРТРЕТОВ

А.Г. Гулямов

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

Одним из известных методов исследования колебательных процессов, в частности в полупроводниках, является метод фазовых портретов. Такой анализ колебательной системы имеет преимущество в наглядности и является мощным инструментом исследования колебаний. Известно, что переменное внешнее воздействие (деформация) на полупроводниковую систему может вызвать периодическое изменение генерационно-рекомбинационных токов. Такое чередование процессов генерации и рекомбинации внутри полупроводника по своей природе является колебательным процессом. Изменение частоты внешнего воздействия вносит ощутимый вклад в зависимость концентрации электронов и дырок от времени. При изменении внешнего воздействия на малых частотах неравновесная концентрация носителей заряда будет увеличиваться и уменьшаться периодически. При увеличении частоты уменьшение и увеличение носителей зарядов становится незначительной. То есть генерационно-рекомбинационные процессы не успевают реагировать на изменение энергетического спектра полупроводника, и концентрация носителей заряда принимает некоторое установившееся среднее значение. Фазовые портреты зависимости концентрации носителей от скорости изменения их концентрации преимущественно имеют вид замкнутой кривой в форме эллипса [1]. Искажение формы эллипса может, в частности, однозначно свидетельствовать о возникновении новых, дополнительных, рекомбинационных центров, приводящих к таким искажениям. Возникновение дополнительных рекомбинационных центров может быть обусловлено структурными изменениями в полупроводниках, связанными с усталостью материала за счет длительного воздействия деформации. Построенная теория, учитывающая возникновение дополнительных рекомбинационных центров, изменяющих фазовые кривые, дало хорошее согласие с экспериментально определенными зависимостями концентрации носителей от частоты деформации. Таким образом, исследование полупроводниковых структур с помощью фазовых портретов может позволить проводить усталостную диагностику состояния полупроводника.

1. Фазовые портреты деформационных эффектов на тензочувствительных плёнках Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 . С.Х. Шамирзаев и др. ФИП, т.9, №1. стр. 68-71.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук Р. А. Аюханов

ИЗУЧЕНИЕ ГЕЙГЕРОВСКИХ ЛАВИННЫХ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОДИОДОВ ПРИ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А. Д. Давыдов

Новосибирский государственный университет

Астрономические наблюдения показывают, что в нашей вселенной существует скрытая, «тёмная» материя. Один из возможных вариантов ее поиска – изучение столкновений частиц темной материи с атомными ядрами. В лаборатории космологии и элементарных частиц НГУ разрабатывается прототип детектора темной материи, в котором рабочим телом является сжиженный аргон, а чувствительные элементы расположены как в жидком аргоне, так и в его парах. Среди прочего в этом прототипе планируется использовать матрицу из 512 гейгеровских лавинных фотодиодов (ГЛФД, англ. G-APD)[1].

Целью настоящей работы являлось исследование рабочих характеристик гейгеровских лавинных фотодиодов при комнатной и криогенной температурах. Особое внимание уделено вариациям порогового напряжения образования лавин в зависимости от температуры. Установление связи между пороговыми напряжениями при разных температурах является актуальной задачей. Это позволило бы сэкономить ресурсы для дальнейших экспериментов по изучению темной материи.

В результате исследовательской работы искомой корреляции не выявлено, среднеквадратичное отклонение разности пороговых напряжений значительно превышает разброс пороговых напряжений при комнатной температуре. Это делает невозможным сортировку фотодиодов по рабочему напряжению при криогенной температуре, что ухудшает условия проведения будущих экспериментов.

В докладе будет представлен краткий обзор различных типов ГЛФД, методика измерений и численные результаты проведённых экспериментов.

1. Ю. К. Акимов. Фотонные методы регистрации излучения, Дубна, ОИЯИ, 2014.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. В. Соколов

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СОСТОЯНИЯ В HgTe КВАНТОВОЙ ЯМЕ И РАССЕЙНИЕ НА ШЕРОХОВАТОСТЯХ

А. А. Добрецова

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

Квантовые ямы (КЯ) на основе бесщелевого полупроводника HgTe в настоящее время относятся к одним из самых интенсивно исследуемых объектов физики двумерных электронных систем (ДЭС). Связано это в первую очередь с уникальным энергетическим спектром ДЭС в HgTe КЯ, который обусловлен сильными релятивистскими эффектами и, соответственно, спин-орбитальным взаимодействием. На данный момент, благодаря успехам молекулярно-лучевой эпитаксии соединений A_2B_6 , выращиваемые образцы обладают очень высоким качеством, что позволило реализовать такие ДЭС, как двумерный топологический изолятор, двумерный полуметалл, двумерные дираковские фермионы. Вместе с тем, теоретическое изучение свойств данных структур началось значительно раньше экспериментального, и, не смотря на описанные выше успехи, до сих пор есть теоретические предсказания, не подтвержденные экспериментом. Одним из них является перестройка волновой функции электрона в яме с увеличением концентрации электронов: если при $k < \pi/d$ (k – волной вектор, d - толщина ямы) волновая функция стандартным образом локализована вблизи центра ямы, то при $k > \pi/d$ она смещается к одной из гетерограниц (направление смещения зависит от знака векторного произведения волнового вектора электрона на его спин) [1,2].

В данной работе посредством анализа зависимости подвижности электронов от концентрации проведено исследование рассеяния электронов в широких ($d = 18-22$ нм) HgTe КЯ с инвертированным спектром при температуре 4.2 К. Полученные экспериментальные данные были описаны двумя независимыми механизмами рассеяния: на примесях, локализованных вблизи гетерограниц ямы, и шероховатостях. При этом теория последнего рассеяния была построена с учетом трансформации волновой функции электрона в яме с ростом концентрации. На основе хорошего согласия эксперимента и теории сделан вывод о существовании поверхностных состояний на границах широкой HgTe квантовой ямы.

-
1. М. И. Дьяконов, Ф. Чаецкий, ЖЭФ, 82, 1584 (1982)
 2. L.G. Gerchikov and A.V. Subashiev, Phys.Stat.Sol., **160**, 443 (1990)
- Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук З. Д. Квон

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРИОДА ОСЦИЛЛЯЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗЕРКАЛЬНОГО РЕФЛЕКСА ДБЭ В ПРОЦЕССЕ ОСАЖДЕНИИ Ge НА ПОВЕРХНОСТЬ Si(100)

М. Ю. Есин

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

Гетероэпитаксиальный рост Ge на поверхности Si(100) вызывает интерес как модель для исследования упругих напряжений, а также на основе материалов Ge и Si возможно создание новых перспективных приборов опто- и наноэлектронике [1]. Одно из наиболее важных и используемых явлений в ДБЭ являются осцилляции интенсивности в течение эпитаксиального роста тонких пленок. Осцилляции интенсивности вызывают интерес, потому что изучение этого явления решает фундаментальные вопросы поверхности, такие как электронная дифракция, эпитаксиальный рост и атомная динамика [2].

Осцилляции интенсивности зеркального рефлекса ДБЭ при осаждении смачивающего слоя Ge на Si(100) были получены для различных температур подложки 450°C, 425°C, 400°C, 375°C, 350°C. Анализ изменения интенсивности картины ДБЭ в процессе роста Ge на Si(100) выявил неравномерность периода осцилляций зеркального рефлекса, но характер изменения периодов для всех осцилляций интенсивности зеркального рефлекса ДБЭ был одинаковый. При начальных стадиях роста периоды осцилляций первых 2-х монослоев уменьшались, а периоды осцилляций 3-го и 4-го слоев увеличивались, и периоды осцилляций 5-го монослоя снова уменьшались.

Продemonстрированное отклонение от среднего значения периода осцилляций зеркального рефлекса может быть связано с кинетическими ограничениями в области температур 300-500°C, при которых каждый последующий монослой при росте смачивающего слоя претерпевает слабое изменение плотности адатомов.

1. Kang L. Wang, et al., Ge/Si self-assembled quantum dots and their optoelectronic device applications. Proceeding of the IEEE. Vol. 95, №9, September 2007.
2. Wang Z., Reflection electron microscopy and spectroscopy for surface analysis / Z. Wang, – Cambridge University Press, 1996. – p. 436.

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

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СВЕТОДИОД НА ОСНОВЕ GaN С ОТДЕЛЕННОЙ САПФИРОВОЙ ПОДЛОЖКОЙ

Д. И. Засухин

ОАО "НИИ Полупроводниковых приборов", г. Томск
Томский государственный университет

В последнее время в мире ведется производство синих вертикальных светодиодов на основе GaN с отделенной сапфировой подложкой. Данная конструкция позволяет увеличить теплоотвод за счет переноса эпитаксиальной структуры с диэлектрической сапфировой подложки на новую подложку с большой тепло- и электропроводностью. Также решается проблема растекания тока в низколегированном p-GaN слое, так как контакт выполнен по всей площади кристалла. За счет того что в качестве светоизлучающей поверхности теперь выступает высоколегированный n-GaN слой, толщина которого составляет несколько микрометров, и на поверхности n-GaN возможно формирование шероховатости, позволяющей увеличить внешний квантовый выход структуры.

В ОАО "НИИ Полупроводниковых приборов" ведется разработка отечественного вертикального светодиодного кристалла на основе GaN. Размер кристалла составляет 1,1x1,1 мм². В качестве новой подложки, на которую будет осуществляться перенос эпитаксиальной структуры, выбрана низкоомная пластина кремния. Для этого проводится процесс сплавления кремниевой пластины с эпитаксиальной структурой через связующий слой AuGe. После осуществляется лазерное отделение сапфировой подложки, так называемая LIFT-OFF технология.

Отделение сапфировой подложки осуществляется на специально разработанной в ЗАО НВП "Топаз" установке "ExciFly".

Для формирования шероховатости на светоизлучающей поверхности применяется метод жидкостного химического травления. Процесс осуществляется в сложном растворе гидроксида калия KOH и пероксодисульфата калия K₂S₂O₈. Для ускорения процесса травления и увеличения размера шероховатости поверхности применяется дополнительное УФ освещение. Также необходимо отметить, что контакт к p-GaN слою должен быть отражающим. Таким образом, выход светоизлучения будет осуществляться только через шероховатую поверхность.

Научные руководители: Д. Д. Каримбаев, д-р физ.-мат. наук, проф.
А. П. Коханенко

ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ НИТРИДА ГАЛЛИЯ

Д. И. Засухин

ОАО "НИИ Полупроводниковых приборов", г. Томск
Томский государственный университет

В последнее время все большее применение находят полупроводниковые источники освещения, постепенно вытесняя традиционные лампы и газоразрядные лампы. Качество роста эпитаксиальных структур позволяет достичь значений внутреннего квантового выхода свыше 90%. Более актуальной проблемой на сегодняшний день является увеличение внешнего квантового выхода. Для этого на светоизлучающей поверхности формируется рельеф. Таким образом, генерируемые в объеме структуры фотоны попадают на поверхность под неопределенным углом, тем самым возрастает вероятность выхода фотонов из объема структуры.

Для создания рельефа на светоизлучающей поверхности применяются множество различных методов: жидкостное химическое травление, плазменное травление и выращивание эпитаксиальных структур на профилированных подложках.

В данной работе предлагается использование метода жидкостного химического травления поверхности GaN в смешанном растворе гидроксида калия KOH и пероксодисульфата калия $K_2S_2O_8$. Также для увеличения скорости травления процесс сопровождается дополнительным УФ освещением, источником которого является ртутная дуговая лампа высокого давления и мощностью 250 Вт. В результате на поверхности формируются шестиугольные ямки размером порядка 2-3 мкм (рис.1).

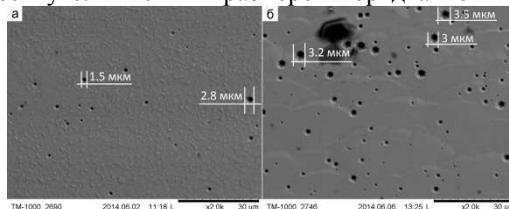


Рис. 1. Поверхность GaN после травления в течение 2 часов в смешанном растворе с концентрацией 1MKOH(а) 2MKOH(б)

Научные руководители: Д. Д. Каримбаев, д-р физ.-мат. наук, проф.
А. П. Коханенко

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСОРНЫХ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА $BaTiO_3$.

И. В. Зайцева

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время исследования релаксоров представляют большой интерес с точки зрения фундаментальной науки и практического применения. В то же время, недавно показано, что гранулированные материалы обычного сегнетоэлектрика при определенных условиях могут также обладать релаксорными свойствами.

Целью данной работы является исследование свойств «классического» сегнетоэлектрика $BaTiO_3$ в виде порошков, подвергнутых прессованию и отжигу. Методами исследования являются генерация второй гармоники (методика, обладающая высокой чувствительностью к переходам от centrosymmetric к noncentrosymmetric фазе кристалла), диэлектрическая спектроскопия, дифференциальная сканирующая калориметрия.

В данной работе были исследованы температурные зависимости генерации второй гармоники, диэлектрической проницаемости и теплоемкости в порошках $BaTiO_3$, подвергнутых одноосному сжатию под давлением 40кБар и отжигу. В результате было получено, что в порошках, по сравнению с кристаллом, наблюдается значительное уширение фазового перехода из сегнетоэлектрической в параэлектрическую фазу. В свою очередь, прессование порошка приводит к появлению типичных релаксорных свойств: наряду со значительным уширением фазового перехода по сравнению с порошком наблюдается квадратичная зависимость диэлектрической проницаемости от температуры, характерная для релаксоров. Сравнение с ранее полученными данными по комбинационному рассеянию света подтверждает эти результаты. По мере высокотемпературного отжига прессованные образцы приобретают свойства, аналогичные порошкам и керамике (в частности, для диэлектрической проницаемости соблюдается закон Кюри-Вейсса). Предполагается, что отжиг снимает остаточные механические напряжения.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что «классический» сегнетоэлектрик в виде гранулированного материала под действием механических напряжений приобретает релаксорные свойства, которые устраняются снятием остаточных механических напряжений.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. М. Пугачев

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ НА ВЕРШИНЕ КАНАЛА СТРИМЕРА ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПРОБОЕ ЖИДКОГО ДИЭЛЕКТРИКА

М. В. Зуев

Новосибирский государственный университет

Для понимания механизмов роста стримеров в жидком диэлектрике при его пробое необходимо знать величину локальной напряженности электрического поля на вершине стримерного канала. На сегодняшний день ни экспериментальные, ни теоретические методы не позволяют сделать надежные оценки этой величины. Численные методы до последнего времени также не позволяли получить значение локальной напряженности на вершине канала стримера, потому что для решения этой задачи необходимо рассчитывать поле во всем разрядном промежутке, размеры которого на 3-4 порядка больше, чем диаметр канала. Имевшиеся вычислительные мощности не позволяли детализовать поле на мелких масштабах, сравнимых с радиусом вершины канала.

В настоящей работе для расчета электрического поля применяются параллельные вычисления на графических ускорителях NVIDIA. Применялась разработанная ранее в [1] консервативная разностная схема для совместного расчета поля и токов в проводящих областях разрядного промежутка. В диэлектрике расчет по этой схеме сводился к решению уравнения Лапласа.

При реализации параллельного алгоритма расчета на графическом ускорителе использовалась технология программирования CUDA. Расчет выполнялся на графической карте NVIDIA GTX GeForce 580 с 512 вычислительными ядрами. Точность расчета оценивалась по невязке. Для расчета невязки на GPU был специально разработан и реализован параллельный алгоритм.

Выполнены трехмерные расчеты электрического поля в геометрии плоскость-плоскость и острая плоскость. При этом использовался максимальный размер сетки до 200x200x200. Это позволило впервые рассчитать напряженность электрического поля на масштабах вплоть до 5 мкм, что примерно соответствует радиусу вершины стримера.

1. Karpov D.I., Kupershtokh A.L. Models of streamer growth with «physical» time and fractal characteristics of streamer structures // 1998 IEEE Int. Symp. on Elec. Insul., Arlington, Virginia, USA, June 7-10, 1998: Conference Record.- Vol. 2.- S.l.: IEEE, 1998.- P. 607-610.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Д. И. Карпов

ИЗМЕРЕНИЕ ДРЕЙФОВОЙ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ОРГАНИЧЕСКИХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУРАХ МЕТОДОМ ПЕРЕХОДНОЙ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

И. А. Зятиков

Национальный исследовательский Томский государственный университет

На сегодняшний момент органические светоизлучающие диоды (ОСИД) имеют широкую область применения в микроэлектронике и фотонике. Современный ОСИД представляет собой многослойную структуру, состоящую из последовательно нанесённых органических слоёв заключённых между катодом и анодом. Параметр подвижности носителей заряда в таких материалах является фундаментальным т.к. определяет движение заряда во внешнем электрическом поле. Следовательно, потребность в измерении подвижности ОСИД остаётся актуальной.

Одним из основных экспериментальных методов определения дрейфовой подвижности носителей заряда является метод переходной электролюминесценции (ПЭЛ), который позволяет определить подвижность и параметр дисперсии подвижности основных носителей и применим для плёнок субмикронной толщины [1, 2].

В ходе работы была экспериментально определена подвижность носителей заряда на основе анализа формы сигнала переходной электролюминесценции с образцами Трис(8-гидроксихинолинат) алюминия. Результаты измерения подвижности дырок в эмиссионном слое органических светоизлучающих полупроводниковых диодов согласуются с литературными данными, полученными другими исследователями Alq₃.

1. Тамеев А.Р., Никитенко В.Р., Лыпенко Д.А., Ванников А.В. Переходная электролюминесценция и аномальная дисперсия носителей заряда в тонких полимерных пленках // ФТТ. – 2009. – Т. 51. - №9. – С. 1840-1845.

2. Войцеховский А.В., Коханенко А.П., Романов И.В. Методы измерения дрейфовой подвижности носителей заряда в излучающих структурах на основе полимерных органических полупроводниковых материалов // Физика. – 2013. – Т. 56. - №9/2. – С. 109-112.

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

МОРФОЛОГИЯ И ЗАРЯДОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ BiTeI (0001)

Е. С. Ивашко

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

Узкозонные полупроводники, состоящие из тяжёлых элементов, в последнее время привлекают большой интерес для исследований физики конденсированного состояния, так как сильное спин-орбитальное взаимодействие приводит к значительным изменениям зонной структуры. Ярким примером таких полупроводников являются топологические изоляторы, в частности, теллуриды висмута BiTeX ($X = \text{Cl, I, Br}$).

В кристаллической структуре соединений BiTeX отсутствует центр инверсии, что приводит к эффекту гигантского спин-орбитального расщепления Рашбы, следствием которого является наличие спин-расщепленных поверхностных и объёмных состояний в зоне проводимости материалов. Следует отметить, что поведение расщепления Рашбы на поверхности сильно зависит от атомных окончаний поверхности. Зонная структура BiTeI , измеренная методом фотоэмиссии с угловым разрешением, сразу после скола поверхности, имеет особенность – перекрытие зоны проводимости и валентной зоны, которое постепенно исчезает с течением времени. Было сделано предположение, что на поверхности образца существуют сразу два атомных окончания (Te и I).

Цель работы – изучение строения поверхности и взаимосвязи между зарядовым состоянием и морфологией поверхности BiTeI , (0001).

В работе изучены морфология и зарядовое состояние поверхности BiTeI (0001) методом атомно-силовой микроскопии и методом Кельвина. Установлено, что поверхность BiTeI состоит из островков размером $\sim 100\text{нм}^2$, высота которых равна постоянной решётки ($\sim 0,68\text{нм}$). Контактная разность потенциалов на границах островков меняла знак, изменения КРП составляют 60-100 мВ. В работе показано, что поверхность BiTeI (0001) терминирована атомами обоих типов (Te и I).

Научные руководители: д-р физ.-мат. наук, доцент О. Е. Терещенко,
А. С. Кожухов

ТЕРМОДИНАМИКА ПАРАМЕТРА ПОРЯДКА

М. А. Ионцев

Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», г. Москва

В данной работе исследуется поведение ансамбля двухуровневых систем. Исследование включает в себя рассмотрение поведения термодинамических потенциалов: свободной энергии (потенциал Гельмгольца), энтропии и теплоёмкости, изучение фазового перехода, определение его рода. Актуальность работы заключается в том, что исследования подобного рода связаны с проектированием сверхпроводящих метаматериалов на основе ансамблей Джозефсоновских контактов, играющих роль потоковых кубитов в квантовом компьютере.

В данной работе описывается новое состояние взаимодействующей фермионной системы: ансамбль двухуровневых систем, взаимодействие между которыми описывается полем Хаббарда-Стратоновича. Состояния системы, описываются с помощью параметра - конденсированного квантового параметра порядка (КПП), являющегося функцией мацубаровского времени (то есть зависит от комплексного времени). Возможно, КПП может позволить более ясно описать состояния проводников в явлениях сверхпроводимости, а также их поведение вблизи критических параметров: температуры и импульса электромагнитного поля. Описание основывается на точном самосогласованном решении, которое определяет поле Хаббарда-Стратоновича; это поле минимизирует евклидово действие взаимодействующих фермионных (состоящих из электронов) систем при конечной и нулевой температурах.

Новизна этого исследования заключается в том, что фермионное евклидово действие с этим (квазиклассическим, т.е. зависящим от комплексного времени) полем может иметь более низкий минимум по сравнению со статическим (классическим) Параметром Порядка, который является имплицитной константой, либо функцией, независимой от времени Мацубары. Хотя, Квантовый Параметр Порядка непосредственно «невидим», он весьма сильно и глубоко влияет на измеримые свойства в фермионной системе.

В исследование входит изучение и получение евклидова действия, нахождения термодинамических потенциалов двухуровневой системы, определение рода фазового перехода, который происходит в области критической температуры.

Научный руководитель - д-р физ.-мат. наук, проф. С. И. Мухин

ВЛИЯНИЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ НА ИНЖЕКЦИОННЫЕ ДИФFUЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДАХ

А. Б. Каршиев

Физико-технический институт НПО “Физика-Солнце“ АН РУз, г. Ташкент

Некоторые новые экспериментальные факты говорят о том, что концентрация рекомбинационных центров не обязательно остается постоянной, в некоторых случаях наблюдается близкое к экспоненциальному распределение концентрации [1].

Предположим, что

$$N_R = N_{R0} e^{\frac{x}{d}}, \quad (1)$$

где N_{R0} -концентрация рекомбинационных центров в точке $x=0$, т.е. на границе квазинейтральной n-базы с p-n- переходом. Из формулы (1) следует, что при $x=d$ концентрация рекомбинационных центров возрастает в 2,7.

В рассматриваемой модели можно записать время жизни дырок как $\tau_p = \left(N_{R0} c_{eff} e^{\frac{x}{d}} \right)^{-1}$, т.е. время жизни неосновных носителей теперь не будет постоянным, оно убывает по мере роста x , т.е. по длине базы d . Соответственно, диффузионная длина неосновных носителей $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$ также будет убывать с ростом x как $\sqrt{e^{-x/d}}$ и основное уравнение для концентрации свободных носителей примет новый вид:

$$\frac{d^2 p}{dx^2} - \frac{p}{L_{p0}^2} e^{\frac{x}{d}} = 0. \quad (2)$$

Здесь $L_p = L_{p0} \sqrt{e^{-x/d}}$ – новая, зависящая от длины образца диффузионная длина неравновесных дырок, L_{p0} -старая, обычная диффузионная длина.

Решение (2) позволяет записать новое выражение для тока в условиях идеального p-n- перехода в виде

$$J = 2q \frac{D_p}{d} p(0), \quad (3)$$

из которого следует, что при экспоненциальном росте вида (1) ток будет определяться длиной базы d .

-
1. Калинина Е.В., ФТП, 41, с.7-48 (2007)

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

ПЕРВОПРИНЦИПНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ $C_{10}H_8N_6O_4$

Е. А. Киселева

Кемеровский государственный университет

В настоящей работе впервые произведено первопринципное исследование кристаллической структуры и колебательных свойств с учетом межмолекулярного взаимодействия кристалла $C_{10}H_8N_6O_4$. Оптимизация параметров решетки была выполнена методом локализованных атомных орбиталей в градиентном приближении теории функционала плотности (ТФП) с использованием пакета CRYSTAL09 [2]. В качестве базиса применялась блоховская сумма локализованных s-, sp-, d- атомных орбиталей (АО) гауссова типа. Вычисление частот длинноволновых колебаний производилось с помощью процедуры FREQCALC пакета CRYSTAL09. Точность процедуры контролируется по значению акустических частот, которые по определению должны быть равны нулю. На самом деле они получаются отрицательными, но их величина не превышает 2 см^{-1} .

Кристалл $C_{10}H_8N_6O_4$ имеет триклинную сингонию, $Z=1$. Вычисленные и экспериментальные значения параметров кристаллической ячейки следующие: $a=5.325\text{Å}$ (5,429), $b=5.327\text{Å}$ (5,568), $c=10.388\text{Å}$ (10,494); $\alpha=101.3^\circ$ (101,5), $\beta=106.1^\circ$ (104,5), $\gamma=99.351^\circ$ (97,1). В скобках показаны экспериментальные значения структуры $C_{10}H_8N_6O_4$ [3]. Полная энергия равна $-1014,741$ ат.ед., $V=270,179\text{Å}^3$ (295,86). Найдены все углы и расстояние между атомами. В элементарной ячейке $C_{10}H_8N_6O_4$ - 28 атомов, поэтому в спектре содержится 84 фундаментальных колебания, из которых 3 являются акустическими и 81 оптические. Минимальная частота имеет значение $72,372\text{ см}^{-1}$, а максимальная – 3264 см^{-1} .

Таким образом, впервые проведенное первопринципное исследование структурных и колебательных свойств $C_{10}H_8N_6O_4$, которые находятся в удовлетворительном согласии с экспериментом.

1. Reed E. J., Rodriguez A. W., Manaa M. R. et al. // Phys. Rev. Lett. – 2012. – 109. P. 038301.
2. Интернет- ресурс http://crystal.unito.it/Basis_Sets/ptable.html
3. Acta Cryst. (2014). E70, 39-42

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

ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ В АНИОНАХ CNO и NCO

Е. В. Ковалев

Кемеровский государственный университет

Реакционные способности фульмината (AgCNO) и изоцианата (AgNCO) серебра существенно различаются, что издавна привлекало внимание. Существует несколько работ, в которых делалось предположение о характере образования химической связи в ионах CNO и NCO в сравнении с хорошо изученным азид-ионом, однако, несмотря на это, электронное строение CNO и NCO до сих пор ни теоретическими, ни экспериментальными методами детально не исследовано.

В настоящей работе проведены теоретические исследования распределения электронной плотности в кристаллах фульмината, изоцианата и азида серебра с использованием программного кода Crystal09 [1,2]. В качестве основного приближения использовалась теория функционала плотности, в рамках которой применялся полноэлектронный подход в приближении ЛКАО. В расчетах использовался гибридный обменно-корреляционный потенциал B3LYP.

Получено, что в то время как в азид-анионе распределение плотности симметрично относительно центрального азота, в цианат- и фульминат – анионах выделяется связь C-N, и существуют контуры величиной $0.45 e/\text{bohr}^3$ и $0.42 e/\text{bohr}^3$ соответственно, охватывающие атомы углерода и азота. Следующий замкнутый контур, величиной $0.42 e/\text{bohr}^3$ в NCO и $0.35 e/\text{bohr}^3$ в CNO, охватывает уже все три атома аниона. Распределение деформационной плотности $\Delta\rho(\mathbf{r})$ в азид-анионе хорошо согласуется с экспериментально полученным в работе [3]. В анионах NCO и CNO деформационная плотность положительна на связи C-N, ее максимум приходится на середину связи, его величина составляет $0.1 e/\text{bohr}^3$ в обоих анионах. В изоцианат-анионе на связи C-O $\Delta\rho(\mathbf{r})$ положительна в области, примыкающей к атому C, ее максимум расположен вблизи центра связи немного ближе к атому C и составляет $0.075 e/\text{bohr}^3$ при этом заряд уходит из области, расположенной с внутренней стороны атома O. В фульминатах $\Delta\rho(\mathbf{r})$ отрицательна в области связи N-O и только по центру связи существует один небольшой максимум величиной порядка $0.003 e/\text{bohr}^3$.

-
1. R. Dovesi, et al., University of Torino, Torino, 2010.
 2. R. Dovesi, R. Orlando, B. Civalleri, et al., Z. Kristallogr.220, 571–573 (2005)
 3. Stevens E. D. Acta Crystallogr. A. – 1977. – 33, N – P. 580-584.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Н. Г. Кравченко

ПАДЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ В СВЕТОДИОДНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ InGaN/GaN ПРИ ФОТО- И ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

В. В. Копьев, И. С. Романов

Томский государственный университет

Квантовая эффективность (IQE) светодиодных структур с множественными квантовыми ямами (МКЯ) InGaN/GaN является предметом интенсивных фундаментальных исследований. Причиной является эффект падения эффективности (уменьшение квантового выхода с ростом плотности тока накачки при $j > 1-10 \text{ A/cm}^2$ и $T = 300 \text{ K}$).

В данной работе исследовались структуры с МКЯ InGaN/GaN синего спектрального диапазона. Измеряли зависимость внешнего квантового выхода η от тока и напряжения в интервале температур $T = 10-300 \text{ K}$. Фотолюминесценцию возбуждали импульсным YAG-лазером ($\lambda = 355 \text{ nm}$) и полупроводниковым импульсным лазером ($\lambda = 405 \text{ nm}$).

Квантовый выход при $T = 300 \text{ K}$ имеет одинаковые значения ($\sim 56-65\%$) для режимов фотолюминесценции (ФЛ) и электролюминесценции (ЭЛ). Кроме того, экспериментальные кривые имеют одинаковый вид (рис. 1, а). Отсюда следует, что для режима ЭЛ, квантовая эффективность при $T = 300 \text{ K}$ в основном описывается ABC-моделью по формуле:

$$IQE = \frac{B \cdot n^2}{A \cdot n + B \cdot n^2 + C \cdot n^3},$$

где A, B, C – коэффициенты рекомбинации Шокли-Рида, излучательной и оже, соответственно; n – концентрация неравновесных носителей в МКЯ.

При низкой температуре ($T = 10 \text{ K}$) экспериментальные результаты для режимов ФЛ и ЭЛ сильно различаются (рис. 1, б).

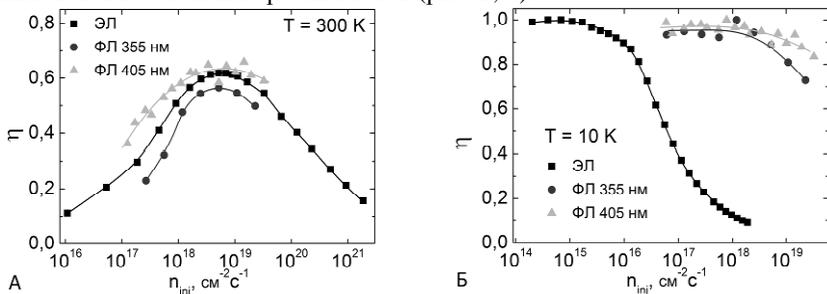


Рис. 1. Зависимости IQE от плотности потока инжектированных носителей при $T = 300 \text{ K}$ (а) и при $T = 10 \text{ K}$ (б)

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук И. А. Прудаев

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПРИ ИНЖЕКЦИИ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПО СПИНУ ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СТРУКТУРЫ A_3B_5

В. М. Кошелев

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

На данный момент фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением получила широкое распространение как один из методов изучения электронной структуры поверхности твердого тела. При этом существует потребность в создании детектора электронов с пространственным спиновым разрешением.

Такой детектор можно создать на основе полупроводниковых структур A_3B_5 . Так, при инжекции электронов поляризованных по спину и имеющих малую энергию в GaAs, излучаемые при их рекомбинации фотоны имеют круговую поляризацию, направление которой зависит от начальной поляризации электронов по спину[1]. Таким образом, при измерении интенсивности и поляризации катодолюминесценции по поверхности полупроводника можно определить поляризацию электронного пучка по спину с пространственным разрешением.

Целью данной работы является изучение эффекта катодолюминесценции при инжекции электронов в различные полупроводниковые структуры на основе GaAs.

В работе была измерена поляризация света, излученного при инжекции поляризованных по спину электронов с поверхности фотокатода GaAs с отрицательным электронным средством (ОЭС) на поверхность GaAs с ОЭС и на поверхность полупроводниковых структур с квантовыми ямами InGaAs в GaAs и GaAs в AlGaAs.

1. V.L.Alperovich et al. // Polarized cathodoluminescence induced by low-energy spin-polarized electrons injected in p-GaAs(Cs,O) // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 536 (2005) 302-307

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук О. Е. Терещенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ФАБРИ-ПЕРО НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА НИОБАТА ЛИТИЯ

В. А. Крадько Е. А. Березина

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Дифракция света на периодических структурах наряду с рефракцией позволяет управлять условиями распространения светового поля. Модуляция показателя преломления в виде периодических дифракционных структур (ДС), созданных в фоторефрактивных кристаллах, обладает рядом уникальных свойств по сравнению с дифракционными решетками, созданными стандартными методами. Такая модуляция позволяет обеспечить управление условиями дифракции оптическими методами. Цель данной работы – формирование самоиндуцирующихся ДС в фоторефрактивном интерферометре Фабри-Перо (ИФП) на основе кристалла ниобата лития LiNbO_3 .

В ходе данной работы был исследован эффект самовоздействия световых полей в фоторефрактивном ИФП, теоретически и экспериментально показано, что в ИФП на основе фоторефрактивных образцов LiNbO_3 происходит формирование одномерных, практически регулярных картин распределения интенсивности светового поля на выходной плоскости ИФП в результате его экспонирования в течение некоторого времени однородным световым полем с длиной волны 532 нм и интенсивностью 100 мВт/см^2 (Рисунок 1).

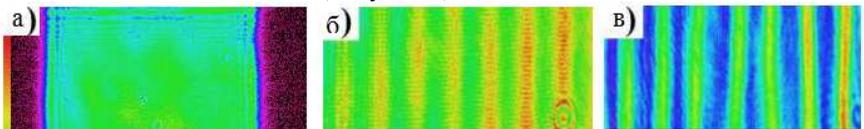


Рисунок 1. – Результаты эксперимента: а) картина светового поля на входной грани ИФП в начальный момент времени; б) картина светового поля на выходной грани ИФП в начальный момент времени; в) картина светового поля на выходной грани ИФП спустя 60 мин

Формирование ДС в ИФП на основе LiNbO_3 подтверждается результатами их сканирования в направлении вектора структуры узким световым пучком и методом дифракции света на фазовой решетке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания ТУСУР на 2015 год.

Научный руководитель: канд.техн. наук А. С. Перин

СТАБИЛЬНОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СЕНСОРОВ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК SnO₂ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ВЛАЖНОСТИ

А. А. Краковская
Томский государственный университет

Водород – самый распространенный элемент во Вселенной, теплота сгорания которого больше чем у угля, а его использование в виде топлива весьма экономично, продуктом сгорания водорода является вода, которая снова может быть употреблена в водородной энергетике. Но водород весьма взрывоопасен, и, обладая самой маленькой молекулой, может просачиваться даже сквозь металлические листы. Для детектирования водорода используется SnO₂. На работу сенсора в реальных условиях влияют множество факторов, основополагающим фактором является влажность окружающей среды.

Для решения этой задачи предлагается использовать сенсоры на основе тонких поликристаллических пленок SnO₂, полученных методом магнетронного распыления на постоянном токе мишени из сплава олова с сурьмой (0.49 ат.%). На поверхность наносились различные катализаторы: Pt, Pd, Au. Сенсоры работали в режиме термоциклирования: $T_1=473$ К (5 с), $T_2=673$ К (2 с). Толщина пленок составляла около 100 нм. За отклик принимали отношение G_1/G_0 , где G_1 и G_0 - проводимость сенсоров в смеси H₂+воздух и в чистом воздухе, соответственно.

Анализ экспериментальных данных при различных значениях абсолютной влажности A (от 3 до 20 г/м³) показал, что отклик $G_1(T)/G_0(T)$ практически не зависит от уровня влажности во всем диапазоне A при использовании сенсоров на основе пленок SnO₂ с золотом в качестве катализатора. По-видимому, в условиях термоциклирования, когда в каждом цикле происходит перегрев сенсора до 673 К в течение 2 с, постепенно плотность адсорбированных молекул воды и гидроксильных групп OH снижается и остается пониженной и в цикле охлаждения при 473 К. Следовательно, влияние влажности на свойства сенсоров SnO₂ с золотом в качестве катализатора, работающих в режиме термоциклирования, значительно ниже, чем в режиме постоянного нагрева, что позволяет получить сенсоры со стабильными характеристиками для детектирования водорода.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-02-31015.

Научные руководители: канд. физ.-мат. наук Н. В. Сергейченко, канд. физ.-мат. наук Ф. В. Рудов

УСТАНОВЛЕНИЕ АТОМНОГО СТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФАЗЫ Si(331)-12x1

В. М. Литвяк

Новосибирский государственный университет

Для полупроводниковых материалов характерны поверхностные перестройки атомов, вызванные стремлением любой системы понизить поверхностную энергию и минимизировать количество оборванных связей. Знания о структуре поверхности важны для понимания и моделирования процессов диффузии, роста и зарождения при создании пленочных и островковых структур.

Формирование поверхностной структуры на плоскости Si(331) было впервые обнаружено при исследовании различных высокоиндексных поверхностей кремния, позднее интерес к ориентации (331) возобновился в связи с явлением огранения этой плоскостью группы сближающихся монокристаллических ступеней на отклоненной поверхности Si(111). С появлением изображений сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) от поверхности Si(331) были предложены три модели реконструкции 12x1. Последняя модель основывается на дополнительных атомах кремния и двух «пентамерах» в элементарной ячейке данной грани. Детальное изучение известных моделей показало наличие некоторых противоречий.

Цель данной работы - устранить имеющиеся противоречия и предложить уточненную атомную модель реконструированной поверхности Si(331)-12x1.

Формирование и исследование атомарно-чистых поверхностей кристаллов возможно только в условиях сверхвысокого вакуума. Получение структуры 12x1 на грани (331) происходило после отжига и охлаждения образца кремния ниже 800°C при давлении ниже 2×10^{-10} Торр. Изображения СТМ записывались при комнатной температуре.

Обработка полученных нами изображений позволила выявить новые данные о морфологии поверхности и особенности расположения дополнительных атомов в элементарной ячейке. В частности, обнаружено одновременное существование структурных элементов из 4 и 5 ярких пятен, подобных «пентамерам» при одной полярности напряжения на образце. Обнаружены различные домены сверхструктуры и асимметрия некоторых структурных элементов.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук С. А. Тийс

ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ РЕБЕР НА ПАРАМЕТРЫ МАССИВА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ГЕРМАНИЯ НА КРЕМНИИ

К. А. Лозовой, А. А. Пищагин
Томский государственный университет

Теоретические и экспериментальные исследования квантовых точек германия на кремнии активно ведутся с 1990-х годов, однако между ними до сих пор не достигнуто согласия, и теория пока не может надежно предсказать результаты ростового эксперимента [1].

В данной работе оценивается степень влияния вклада энергии образования дополнительных ребер в изменение свободной энергии при формировании квантовой точки для различных значений удельной энергии образования ребер. Проводится уточнение известной кинетической модели [2] образования и роста квантовых точек по механизму Странского–Крастанова. С учетом этого вклада рассчитываются функция свободной энергии при переходе атомов из смачивающего слоя в островок, критическое число атомов в островке, активационный барьер нуклеации, поверхностная плотность и функция распределения квантовых точек по размерам. Показывается, что принятие во внимание дополнительной энергии образования ребер необходимо для получения более реалистичных оценок параметров массива квантовых точек при численном моделировании их роста. Активационный барьер нуклеации, а также критическое число атомов в островке для одних и тех же параметров роста в случае учета изменения энергии ребер значительно увеличиваются. При этом параметры, характеризующие нуклеацию, практически линейно возрастают с увеличением удельной энергии ребер. Кроме того, установлено, что учет изменения свободной энергии за счет образования ребер при моделировании кинетики формирования квантовых точек приводит к заметному изменению рассчитанных параметров массива квантовых точек. Так, уменьшается их поверхностная плотность и увеличивается средний размер, а также дисперсия по размерам.

1. Aqua J.-N., Berbezier I., Favre L. Growth and self-organization of SiGe nanostructures // *Physics Reports*. – 2013. – V. 522. – P. 59-189
2. Дубровский В.Г. Расчет функции распределения квантовых точек по размерам на кинетической стадии роста // *ФТП*. – 2006. – Т. 40. – № 10. – С. 1153-1160.

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

СОЗДАНИЕ ПЛЕНОК ЧАСТИЧНО ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА И МУЛЬТИГРАФЕНА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

В. А. Майборода, Б. Ю. Забелич
Новосибирский государственный университет

В последнее время активно ведутся работы по созданию и изучению материалов на основе графена и его модификаций. Один из наиболее привлекательных для использования материалов на основе графена - фторографен, химически и термически стабильный диэлектрик с относительно широкой запрещенной зоной (~3,5 эВ).

Цель данной работы – создание стабильных структур на основе частично фторированного графена и мультиграфена и отработка методики их получения. Была использована оригинальная технологически простая методика фторирования графена, разработанная несколько лет назад в ИФП СО РАН [1].

Исследованные пленки графена и мультиграфена были получены методом электростатического отщепления высокоориентированного пиролитического графита на подложки окисленного кремния и подвергнуты химической функционализации в водном растворе плавиковой кислоты (фторированию). Формирование сетки фторографена приводило к переходу пленок от проводящего в изолирующее состояние (увеличение сопротивления пленок на 7-8 порядков). Также была изучена зависимость времени перехода исследованных образцов из проводящего состояния в изолирующее от их формы и размеров и предложена эмпирическая формула для оценки времени частичного фторирования пленок графена и мультиграфена.

В ходе работы было показано, что полученные структуры обладают резистивным эффектом и перспективны для дальнейшего прикладного использования, например, создания элементов памяти.

1. Н. А. Небогатикова, И. В. Антонова, В. Я. Принц, В. А. Володин. Функционализация пленок графена и мультиграфена в водном растворе плавиковой кислоты // Российские нанотехнологии. 2014. Т. 9. №1. С. 59-65.

Научный руководитель: Н. А. Небогатикова

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР, СОЗДАНЫХ НА БАЗЕ АЛМАЗНЫХ ПЛЕНОК, ВЫРАЩЕННЫХ НА САПФИРОВЫХ ПОДЛОЖКАХ CVD-МЕТОДОМ

Н. Т. Муталов, К. А. Амонов

Физико-технический институт, г. Ташкент, Узбекистан

Сапфир и алмаз – очень хорошие изоляторы и они обладают такими уникальными полупроводниковыми свойствами, присущими только им, которые необходимы для развития специального микроэлектронного приборостроения на их основе. К тому же сапфир является хорошей оптической средой, что может быть успешно применено в оптоэлектронике [1]. Все это определяет перспективность использования сапфировых подложек. Кроме этого, гетероэпитаксиальные алмазные пленки, полученные на сапфировых подложках, обладают высокой спектральной чувствительностью в ультрафиолетовой (УФ) части спектра солнечного излучения. Преимуществом структур УФ ФП, созданных на основе алмазных пленок, выращенных на сапфировых подложках, является то, что благодаря пропусканию (прозрачности) сапфира солнечного излучения длиной волны выше $\sim 0,5$ мкм (ниже 2,5 эВ) имеется возможность создания селективных ФП УФ диапазона [2].

В настоящем сообщении приводятся результаты исследований спектральной чувствительности М – П – М гетероструктуры при освещении со стороны алмазной пленки. М – П – М гетероструктура была создана на основе алмазной пленки толщиной ~ 3 мкм, выращенной на сапфировой подложке CVD-методом. Омические контакты были получены со стороны алмазной пленки. Результаты исследований показали, что спектр фоточувствительности такой структуры охватывает диапазон длин волн от 0,23 до 0,5 мкм. Спектральная чувствительность М – П – М гетероструктуры была измерена на монохроматоре МДР-4 при освещении ксеноновой лампой мощностью 100 Вт.

Работа выполнена в рамках гранта № 4-14 ФПФИ АН РУз.

1. Павлов Д.А., Шилиев П.А., Пирогов А.В., Кривулин Н.О., Бобров А.И., Пегасина М.Д. Анализ закономерностей роста при гетероэпитаксии кремния на сапфире //ФТП, 2013, том 47, выпуск 6. –С.854-858.

2. Бланк Т.В., Гольдберг Ю.А. Полупроводниковые фотопреобразователи для ультрафиолетовой области спектра (обзор). ФТП. -2003, т.37, вып.9. -С.1025-1040.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Саидов

**СПЕКТРЫ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ
n/3C-SiC – p/C_{АЛМАЗ}, n/4H-SiC – C_{АЛМАЗ} И n/6H-SiC – C_{АЛМАЗ}
ГЕТЕРОСТРУКТУР, ПОЛУЧЕННЫХ CVD-МЕТОДОМ**

Н. Т. Муталов

Физико-технический институт, г. Ташкент, Узбекистан

В работах [1] показано, что светодиодные структуры, изготовленные на основе алмазных пленок, выращенных на карбид кремниевых (SiC) подложках, обладают электролюминесценцией, причем наилучшими излучательными характеристиками обладают структуры, полученные на подложках из политипа 3C-SiC.

Настоящая работа посвящена сопоставительным исследованиям спектров электролюминесценции светодиодных n/3C-SiC – p/C_{алмаз}, n/6H-SiC – p/C_{алмаз} и n/4H-SiC – p/C_{алмаз} гетероструктур, созданных на основе алмазных пленок, полученных CVD-методом.

Результаты измерений спектров электролюминесценции n/3C-SiC – p/C_{алмаз}, n/6H-SiC – p/C_{алмаз} и n/4H-SiC – p/C_{алмаз} гетероструктур показали, что максимумы спектров излучения у них находятся в различных спектральных областях. Например, у n/4H-SiC – p/C_{алмаз} гетероструктуры имеются два максимума: при длинах волн 420нм (сине-фиолетовый) и 480нм (фиолетовый цвет с голубым оттенком), причем максимум, находящийся при длине волны 480 нм относительно шире и выше, чем при 420нм.

У n/6H-SiC – p/C_{алмаз} и n/3C-SiC – p/C_{алмаз} гетероструктур максимумы спектра излучения находятся при длинах волн 460нм (голубой цвет) и 630нм (оранжево-красный), соответственно. У которых тоже имеются еще маленькие максимумы при длинах волн 440нм (фиолетовый) и 690нм (красный), соответственно.

Таким образом, установлено, что максимумы спектров излучения светодиодных структур, созданных на основе алмазных пленок, выращенных на SiC подложках, зависит от политипа (т.е. от ширины запрещенной зоны E_g) карбида кремния, из которого изготовлена подложка.

Работа выполнена в рамках гранта ГНТП АН РУз

1. Т.М.Салиев, М.С.Саидов. «Белое излучение при пробое nSi – pC_{алмаз} гетероперехода и о предельной эффективности кремниевого солнечного элемента»//Гелиотехника, 2010, №3, -С.7-9.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Саидов

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ МАССИВОВ НАНОКРИСТАЛЛОВ CdSe МЕТОДОМ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

А. А. Недомолкина

Новосибирский государственный университет

Научный интерес к полупроводниковым нанокристаллам, получаемым методами химического синтеза, сохраняется вот уже на протяжении нескольких десятков лет. Исключительная гибкость и универсальность этих методов обуславливает широкий спектр применения получаемых наноструктур. Для исследования структурных особенностей низкоразмерных систем, используются рентгеноспектральные и электронно-микроскопические методы. Рентгеноспектральный метод позволяет судить о количественном и качественном составе, однако не даёт прямых данных по морфологии и структуре анализируемого вещества. Поэтому наиболее адекватным методом исследования структуры и морфологии нанокристаллов является высокоразрешающая электронная микроскопия.

Целью данной работы является определение влияния условий синтеза и условий нанесения нанокристаллов на углеродную подложку на структурно-морфологические особенности отдельных нанокристаллов и параметры двумерных массивов нанокристаллов. Нанокристаллы CdSe были получены методом коллоидного синтеза, и наносились на подложку с помощью метода Ленгмюра-Блоджетт, который активно используется в производстве современных электронных приборов и позволяет наносить моно- и мультислои без особых экономических затрат.

В ходе данной работы были выполнены электронно-микроскопические исследования структурно-морфологических особенностей коллоидных нанокристаллов CdSe, нанесенных на углеродные подложки. Установлены параметры и типы кристаллической решетки, степень покрытия подложки, функция распределения нанокристаллов по размерам и средний размер нанокристаллов. Исследования проводились на электронном микроскопе JEOL 4000EX. Проведена цифровая обработка экспериментальных изображений с помощью пакета программ Digital Micrograph. Полученные экспериментальные данные будут использованы для оптимизации технологии синтеза и нанесения нанокристаллов, а также будут сопоставлены с данными оптического поглощения и фотолуминесценции.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. К. Гутаковский

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП НА ПОВЕРХНОСТИ АЭРОЗОЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ.

Д. В. Некрасов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СОРАН
Новосибирский государственный университет

Химический состав наночастиц, образующихся при фотонуклеации атмосферных органических соединений, в том числе альдегидов, выделяющихся при лесных пожарах, практически не изучен с точки зрения идентификации функциональных групп, хотя, ввиду сохраняющейся высокой реакционной способности таких частиц, они оказывают существенное влияние и на свойства атмосферы, и на живые организмы.

Методы аналитической химии, пригодные для анализа газообразных продуктов фотонуклеации альдегидов, оказываются неспособными дать информацию о функциональных группах, присутствующих на поверхности частиц атмосферного органического аэрозоля.

Цель работы – определить общий состав аэрозольных частиц, их размеры, а также функциональные группы, присутствующие на поверхности частиц, в зависимости от условий фотонуклеации альдегидов.

Методом FTIR спектроскопии определен общий состав аэрозольных наночастиц, образующихся при фотолизе паров альдегидов. Для определения размеров и химической природы поверхности аэрозольных наночастиц, образующихся при фотонуклеации мы применили кварцевый резонатор работающий в сдвиговой моде, позволяющий измерить силу отрыва частицы от поверхности. Применение этого метода в сочетании с соответствующей модификацией поверхности QCM позволяет анализировать поверхностные функциональные группы наночастиц.

Показано, что в зависимости от условий фотонуклеации меняется состав функциональных групп на поверхности аэрозольной частицы. На основании полученных данных предложен механизм начальной стадии фотонуклеации.

Научный руководитель: д-р хим. наук Ф. Н. Дульцев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В МУЛЬТИФЕРРОИКАХ ОРТОРОМБИЧЕСКОЙ СИММЕТРИИ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Э. Р. Нигматуллина, А. Р. Жармухаметов
Башкирский государственный университет, г. Уфа

Фазовые переходы и критические явления в пленках и массивных образцах мультиферроиков представляет огромный интерес и активно обсуждается в научной литературе в настоящее время [1-3]. В этих системах обнаружена сильная связь между дальним магнитным порядком и электрической поляризацией [4]. Одним из проявлений этой связи является формирование электрической поляризации только после появления в дальнего магнитного порядка [4]. Представленная работа посвящена математическому моделированию фазовых переходов в пленках мультиферроиках орторомбической симметрии, а также исследованию поведения различных физических величин в области фазовых переходов. Для этого мы применяем моделирование методом Монте-Карло. Магнитную подсистему будем моделировать с помощью двумерной модели Изинга в приближении ближайших взаимодействующих соседей. Считаем, что пленка имеет толщину в 4 атомных слоя. Гамильтониан магнитной модели (двумерной модели Изинга) имеет вид:

$$H = - \sum_{(i,j)} J_{ij} s_i s_j - \sum_i \mu H s_i$$

где первое слагаемое описывает обменное взаимодействие, второе слагаемое учитывает внешнее магнитное поле, направленное перпендикулярно поверхности пленки.

В результате нами определены основное состояние пленки мультиферроика, с орторомбической симметрией магнитной подсистемы, а также полевые и температурные зависимости энергетического спектра, спиновой теплоемкости и однородной восприимчивости.

-
1. C.W. Nan, et al., // J. Appl. Phys., 103 (3) (2008), p. 031101.
 2. M.E.J. Newman, G. T. Barkema. Monte Carlo Methods in Statistical Physics // Clarendon Press, Oxford (2002).
 3. H.T. Diep, Frustrated Spin Systems, 2nd edition, World Scientific (2013)
 4. H. T. Diep, Theory of Magnetism, p.112, World Scientific, Singapore (2014).

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук И. Ф. Шарафуллин

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В НАНОПЛЕНКАХ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ

А. Г. Нугуманов

Башкирский государственный университет, г. Уфа

Магнитоэлектрический эффект и в нанопленках и массивных мультиферроиках представляет огромный интерес и активно обсуждается в научной литературе в настоящее время [1]. Представленная работа посвящена изучению магнитных свойств и построение теории динамических взаимодействий в нанопленках мультиферроиков. Эти структуры обладают специфическими поверхностными эффектами, имеющими огромные возможности практического применения [2].

Мы исходим из гамильтониана одноосного анизотропного мультиферроика, состоящего из двух эквивалентных магнитных подрешеток, в котором учитываем однородное обменное взаимодействие, анизотропию, магнитоэлектрическое взаимодействие, влияние внешнего магнитного поля. Для вычисления различных физических величин и их поведения в области фазовых переходов мы применяем моделирование квантовым методом Монте-Карло [3]. В результате нами определены полевые и температурные зависимости намагниченности, спиновой теплоемкости, однородной восприимчивости, а также коэффициентов затухания энергетического спектра антиферромагнитной нанопленки мультиферроика с линейным по внешнему электрическому полю магнитоэлектрическим эффектом. Показано, что действие внешних полей приводит к сдвигу резонансных частот магнитоэлектрического взаимодействия. С учетом аномальных функций Грина, возникающих в связи с нарушением градиентной инвариантности для рассматриваемого взаимодействия, получено затухание спиновых волн, связанное с процессами слияния и распада магнонов.

1. K. Prashanthi, V.R. Palkar. Investigation of magnetoelectric effect in novel multiferroic thin films for MEMS applications // Applied Electromagnetics Conference (AEMC 2009) (2009).

2. H.T. Diep. Quantum Effects in Antiferromagnetic Thin Films // Phys. Rev. B 43, 8509 (1991).

3. M.E.J. Newman, G. T. Barkema. Monte Carlo Methods in Statistical Physics // Clarendon Press, Oxford (2002).

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук И. Ф. Шарафуллин

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ЧАСТОТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЁМКОСТИ И ПРОВОДИМОСТИ В СВЕТОДИОДАХ НА ОСНОВЕ AlGaInP

В. Л. Олейник

Томский государственный университет

В настоящее время четверной раствор AlGaInP широко используются для создания высокоомощных светодиодов красного и жёлтого свечения. Однако, их электрические характеристики, изучены недостаточно. В данной работе исследовано влияние температуры на зависимости электрической ёмкости и проводимости от частоты тестового сигнала ($C(\omega)$ и $G(\omega)$ соответственно).

Исследовались красные светодиоды с 20 квантовыми ямами (КЯ) и жёлтые с 30 КЯ. Они были изготовлены из AlGaInP методом газовой эпитаксии из металлоорганических соединений. Экспериментальная установка состояла из криостата замкнутого цикла фирмы Janis и RLC метра Agilent E4980A. Измерения проводились при температурах от 17 до 350 К и частотах от 20 Гц до 2 МГц с постоянным смещением +1 В и тестовым сигналом 40 мВ.

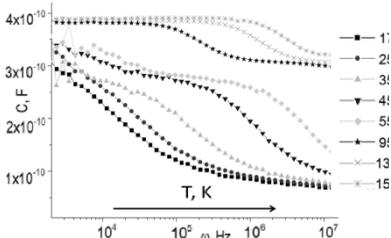


Рис. 1. Типичная зависимость $C(\omega)$ светодиодов из AlGaInP

На рис. 1 представлена типичная зависимость ёмкости от частоты для исследуемых светодиодов. На ней обнаружено две ступеньки, смещающиеся по частоте в зависимости от температуры и, предположительно, связанные с эмиссией носителей из КЯ или иных ловушечных центров. Для зависимостей $G(\omega)$ наблюдается серия пиков, которые аналогично

зависимостям $C(\omega)$ смещаются под действием температуры.

Из температурных зависимостей $C(\omega)$ и $G(\omega)$ определены энергии активации энергетических уровней соответствующих ловушек. Обнаружено, что они зависят от температуры и увеличиваются при ее повышении. Максимальные значения энергии активации для красных светодиодов составляют 30 и 40 мэВ, а для жёлтых - 13 и 103 мэВ.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук И. А. Прудаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОНОН-ПЛАЗМОННЫХ МОД В СЛОЯХ ЛЕГИРОВАННОГО АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ НА ПОЛУИЗОЛИРУЮЩИХ ПОДЛОЖКАХ

А. А. Панарин, В. А. Иващенко

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

Арсенид галлия (GaAs) является одним из основных материалов оптоэлектроники. Для приборного применения плёнки GaAs легируют как донорами (n-тип), так и акцепторами (p-тип). Известно, что электрон-фононное взаимодействие в полярных полупроводниках приводит к образованию смешанных фонон-плазмонных мод, частота которых зависит от концентрации свободных носителей заряда. Хотя данная зависимость изучена достаточно хорошо, развитие экспрессных и бесконтактных методов контроля концентрации электронов и дырок в тонких плёнках GaAs остается актуальной задачей.

В данной работе плёнки GaAs n- и p-типа исследовались с применением методики спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). Использовалось оборудование НОК «Наносистемы и современные материалы» НГУ. Концентрация электронов и дырок контролировалась по измерениям эффекта Холла и составляла в различных образцах от 10^{15} до 10^{19} см⁻³.

Экспериментально измеренные спектры КРС легированных плёнок GaAs были аппроксимированы рассчитанными спектрами. Разработанный подход построения рассчитанных спектров позволил уточнить параметры фонон-плазмонного взаимодействия. В экспериментальных спектрах обнаружены эффекты, связанные с наличием вблизи поверхности плёнок зон обеднения, в которых концентрация электронов или дырок была существенно ниже их концентрации в квази-нейтральном объёме. Были использованы различные геометрии рассеяния, впервые была сделана попытка обнаружить интерфейсные фонон-плазмонные моды, частоты которых также были рассчитаны в континуальной модели с учётом граничных условий.

Усовершенствованный метод определения концентрации электронов и дырок из анализа спектров КРС является экспрессным, неразрушающим и может использоваться для “*in situ*” контроля.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент В. А. Володин

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ГЕТЕРОСКРУКТУР GE/SI С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ GE МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ ЭПИТАКСИИ

А. А. Пищагин, В. Ю. Серохвостов

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Низкоразмерные полупроводниковые гетероструктуры привлекают к себе все большее внимание. Пространственная локализация носителей заряда приводит к существенному отличию электрофизических и оптических свойств низкоразмерных структур по сравнению с объемными полупроводниками. Среди широкого класса полупроводниковых гетероструктур можно выделить структуры Si/Ge, которые совместимы с современной кремниевой технологией. Это позволяет использовать их как для совершенствования традиционных элементов кремниевой нано- и микроэлектроники, так и для создания новых электронных и оптоэлектронных устройств. В частности, гетероструктуры Si/Ge с самоформирующимися наноструктурами и квантовыми точками являются перспективным материалом для создания на кремниевых подложках свето- и фотодиодов на диапазон длин волн 1.3-1.55 мкм [1].

В работе представлены результаты экспериментов на установке молекулярно-лучевой эпитаксии «Катунь-100».

Был проведен ряд экспериментов по синтезу квантовых точек Ge на подложках Si(100) и Si(111). После проведения предэпитаксиальной химической обработки, подложки загружались в установку МЛЭ. Далее проводился ступенчатый отжиг пластин в диапазоне температур 20–750 °С. Буферный слой Si толщиной 30-50 нм напылялся со скоростью 0.03 нм/с при температуре 700°С. После выращивания буферного слоя температура снижалась до 400-500°С и на подложку осаждался Ge со скоростью 0,023 нм/с.

Исследования синтезированных структур на атомно-силовом микроскопе NT-MDT «Solver» показало, что на поверхности Si сформировался массив hut-кластеров Ge прямоугольной формы с высотой 3-7 нм, латеральными размерами 10-30x70-200нм, и плотность $\sim 10^{11}$ см⁻².

1. Алферов Ж. И., Андреев В. М., Румянцев В. Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотозенергетики // ФТП. – 2004. – Т. 38. – № 8. – С. 937–948.

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

СИНТЕЗ МАГНИТНЫХ ПЛЁНОК С ЗАДАНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ

С. А. Подорожняк

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Создание многослойных магнитных плёнок с эффектом гигантского магнитного сопротивления (ГМС) весьма актуально для спин-вентильных устройств на основе магнитомягкого и магнитожёсткого материалов [1]. Обычно магнитные плёнки получают с применением технологий вакуумного напыления. В нашей работе для получения магнитожёстких (с коэрцитивной силой (H_c) свыше 500 Эрстед) и магнитомягких (H_c менее 20 Эрстед) слоёв состава кобальт-фосфор использован метод химической металлизации. Изменение коэрцитивной силы обусловлено химическим составом (содержанием фосфора), типом кристаллической решётки, наличием или отсутствием наведённой анизотропии и толщиной плёнки (в данной работе толщина рассматривается как функция времени осаждения). Все эти параметры можно контролировать вариацией условий осаждения.

Измерения основных магнитных характеристик плёнок проводились путём снятия петель гистерезиса и исследования полярных и меридианальных эффектов Керра.

В работе отрабатываются технологические режимы получения плёнок с максимально и минимально возможной коэрцитивной силой. Показано, что с увеличением времени осаждения от 1 до 3 мин коэрцитивная сила плёнок уменьшается 430 до 130 Эрстед.

В зависимости от концентрации и типа щелочного реагента (гидрокарбонат натрия, тетраборат натрия, аммиак), а также концентрации фосфоросодержащей добавки (гипофосфит натрия) H_c полученных плёнок претерпевает изменения от 10 до 10^3 Эрстед.

При помощи рентгенофазового анализа исследована кристаллическая структура образцов, методом атомно-силовой микроскопии определён размер зёрен, при помощи сканирующего электронного микроскопа получено изображение поверхности, а содержание фосфора в образцах определено методом атомно-адсорбционной спектроскопии.

1. П. Д. Ким, Г. С. Патрин, Д. А. Марущенко, Т. В. Руденко, В. В. Поляков Т. В. Ким. Исследование процессов перемагничивания магнитомягких и магнитожёстких слоёв в спин-вентильных структурах // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics 2012, 5(2), 196-204

Научный руководитель: д-р техн. наук Т. Н. Патрушева

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТВЕРДОГО РАСТВОРА $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$

У. Х. Рахмонов

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

На рентгеновском микроанализаторе «Jeol» JSM 5910 LV-Japan были проведены исследования химического состава поверхности и скола выращенных эпитаксиальных слоев твердого раствора $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ (Рис.1а). Исследования растровых картин поверхности слоев показали, что когда кристаллизация началась при температурах ниже $T_s < 800$ °С, пленки имели вид дендритных многогранников, расположенных на подложке и прочно с ней соединенных, а при $T_s > 800$ °С дендритные включения отсутствовали. Результаты рентгеновского микроанализа по сколу показали, что в переходной области, расположенной между подложкой и эпитаксиальной пленкой, молярное содержание GaP постепенно спадает, а ZnSe – растет, в эпитаксиальном слое распределение компонентов Zn, Se, Si, Ga и P по глубине более-менее равномерное (рис.1 б). На поверхности пленки молярное содержание галлия составляло 3,7 ат.%, фосфора – 5,3 ат.%, селена – 42,2 ат.%, цинка – 45,8 ат.% и кремния 3,0 ат.%, что соответствует образованию твердого раствора $(\text{ZnSe})_{0,88}(\text{Si}_2)_{0,03}(\text{GaP})_{0,09}$.

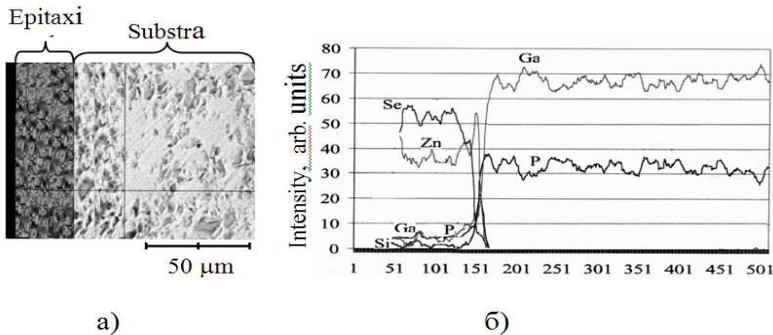


Рис.1. Растровый снимок скола (а) и профиль распределение компонентов Ga, P, Zn, Se и Si (б) в эпитаксиальном слое твердого раствора $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Саидов

ФОТОЭМИССИЯ ИЗ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ С АДсорБИРОВАННЫМИ СЛОЯМИ ЦЕЗИЯ И КИСЛОРОДА

А. С. Романов

Новосибирский государственный университет

Поверхности полупроводников $A^{III}B^V$ с адсорбированными слоями щелочных атомов и, в частности, поверхности GaAs с цезием, привлекают значительное внимание как модельная система для изучения начальных стадий формирования барьера Шоттки и в качестве основы GaAs(Cs,O)-фотокатодов. Поверхность такого фотокатода активирована цезием и кислородом до состояния с отрицательным эффективным электронным сродством $\chi^* = \chi - \phi_s < 0$, где χ – истинное электронное сродство, ϕ_s – величина приповерхностного изгиба зон. Первая стадия активирования состоит в адсорбции цезия на атомарно-чистую поверхность GaAs, при этом электронное сродство χ^* снижается с ~ 4 эВ до 0.1-0.2 эВ за счет формирования Cs-индуцированных микродиполей и изгиба зон. Ранее было показано, что вероятность выхода электронов в вакуум при положительном электронном сродстве чрезвычайно мала и составляет всего несколько процентов. При этом дозовая зависимость вероятности выхода при адсорбции цезия содержит максимум, в котором вероятность выхода увеличивается в несколько раз [1]. Малая величина вероятности выхода, отчасти, может быть связана с рассеянием электронов на цезиевых кластерах. Чтобы проверить эту гипотезу, изучена эволюция вероятности выхода при адсорбции кислорода, вызывающей декластеризацию цезия. Вероятность выхода и электронное сродство при адсорбции цезия и кислорода определялись из спектров квантового выхода фотоэмиссии [1]. Показано, что при нанесении кислорода на поверхность Cs/GaAs зависимость вероятности выхода электронов в вакуум от величины электронного сродства представляет собой петлю гистерезиса. Это обусловлено тем, что в отсутствие цезиевых кластеров вероятность выхода электрона повышается в 2-3 раза. Пик вероятности выхода, по-видимому, связан с резонансным прохождением электронов ОПЗ, когда несколько полудлин волн де-Бройля укладывается в характерный размер потенциальной ямы. Однако при появлении кластеров условия интерференции волн перестают выполняться за счет рассеяния на поверхности, и резонанс пропадает.

1. A. G. Zhuravlev, Appl. Phys. Lett. **105**, 251602 (2014).

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, А. Г. Журавлев

МОДЕЛЬ ФЛУКТУАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Д. В. Рошко

Новосибирский государственный университет

Спонтанное изменение интенсивности люминесценции одиночных полупроводниковых нанокристаллов (квантовых точек) при непрерывном оптическом возбуждении было обнаружено в 1996 году. Это явление, также называемое «мерцание», было первоначально ассоциировано с процессами ионизации и нейтрализации квантовой точки. Однако последующее накопление экспериментальных данных показало несостоятельность ионизационной модели мерцания.

До сегодняшнего дня наиболее успешной попыткой объяснить феномен мерцания являлась модель нескольких рекомбинационных центров [1], предложенная в 2009 году П. А. Французовым с коллегами. Хотя эта модель на качественном уровне объясняет практически весь спектр экспериментальных фактов, детального описания явления нет до сих пор.

Таким образом, целью данной работы было создание новой модели, дающей не только качественное, но и количественное описание мерцания. В предлагаемой модели флуктуации интенсивности излучения объясняются наличием квазистационарных состояний на поверхности нанокристалла: переходы поверхностных атомов между возможными состояниями влияют на скорость безизлучательной релаксации, что в свою очередь приводит к флуктуациям интенсивности излучения.

Для проверки того, что данная модель действительно способна воспроизвести поведение любой квантовой точки, были использованы экспериментальные данные, полученные группой Дана Орона в институте Вайцмана [2]. В частности, анализ результатов эксперимента с точками, имеющими искусственно присоединенную ловушку дырок, подтверждает наличие механизма мерцания, не связанного с ионизацией нанокристалла.

1. P.A. Frantsuzov, S. Volkan-Kacso, and B. Janko. Model of Fluorescence Intermittency of Single Colloidal Semiconductor Quantum Dots Using Multiple Recombination Centers. *Phys. Rev. Lett.* 103, 207402 (2009)

2. R. Tenne, A. Teitelboim, P. Rukenstein, M. Dyschel, T. Mokari, and D. Oron. Studying Quantum Dot Blinking through the Addition of an Engineered Inorganic Hole Trap. *ACS Nano* 7, 5084-5090 (2013)

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук П. А. Французов

СПИНОВАЯ ДИНАМИКА В ПРОСТРАНСТВЕННО УПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУРАХ С GE/SI КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ.

Д. А. Руднев

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

На сегодняшний день развиты методы, позволяющие получать упорядоченные массивы квантовых точек (КТ) с различной пространственной конфигурацией: квадратная решетка, линейные цепочки, кольцевые молекулы. Недавно было показано, что пространственная конфигурация КТ влияет на спиновую динамику, в частности, на основании расчетов можно ожидать увеличения времен спиновой релаксации для кольцевых структур. Целью данной работы является экспериментальная проверка этого предположения.

Были проведены ЭПР исследования двух кольцевых структур с разным типом локализации электронов на КТ. Первая структура содержала 10 слоёв квантовых колец, разделённых прослойками кремния толщиной 10 нм. Размеры КТ в кольцевых молекулах составляли: высота $h \approx 5$ нм, ширина $d \approx 50$ нм, длина $l \approx 140$ нм. Плотность массива КТ $n \sim 10^9 \text{ см}^{-2}$. Вторая структура содержала 15 слоев с кольцами из КТ. Толщина прослоек Si составляла 3 нм. Размеры КТ во второй структуре: $h \approx 2-3$ нм, $d \approx 20-30$ нм, $l \approx 70-80$ нм. Плотность колец в 4 раза больше, чем в первой структуре. На обоих типах структур зафиксированы сигналы ЭПР, соответствующие электронам, локализованным на КТ. Анализ анизотропии g-фактора показал, что в первой структуре локализация электронов произошла вблизи вершин КТ, а во второй структуре вблизи ребер основания КТ.

В обоих случаях наблюдается анизотропия ширины ЭПР-линии, связанная с действующим в системе механизмом спиновой релаксации Дьяконова-Переля. Для первой структуры ширина ЭПР-линии увеличивается в 2 раза, а для второй в 5 раз. Поскольку во второй структуре анизотропия выше, то можно сделать вывод, что данный механизм работает более эффективно. Следовательно, для экспериментов по исследованию спиновой динамики в кольцах более подходящей является структура первого типа. Были проведены измерения методом спинового эха и получено увеличение времени релаксации продольной компоненты спина в несколько раз, по сравнению с неупорядоченными структурами с квантовыми точками.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. Ф. Зиновьева

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК, СФОРМИРОВАННЫХ В ГЕТЕРОСИСТЕМЕ InSb/AlAs

К. М. Румынин

Новосибирский государственный университет

Теоретические расчёты показывают, что в гетеросистемах InSb/AlAs можно ожидать формирование КТ с энергетическим спектром первого рода с непрямой запрещённой зоной. В таких структурах имеет место длительное время жизни экситона сравнимое с ожидаемым временем спиновой релаксации экситона, локализованного в КТ [1]. Это делает такие КТ перспективными объектами для исследования процессов релаксации спина экситона в КТ. Целью работы является экспериментальное исследование энергетического спектра КТ сформированных в гетеросистеме InSb/AlAs.

Были выращены 2 типа гетероструктур с квантовыми точками InSb/AlAs с помощью МЛЭ, отличающимися содержанием атомов Sb. Отсутствие муара и дислокаций на ПЭМ изображениях гетероструктур свидетельствует о том, что КТ псевдоморфно напряжены. Принимая во внимание большое рассогласование решёток (12.6%), формирование напряжённых КТ позволяет утверждать, что КТ сформированы из четверного твёрдого раствора.

Экспериментальное исследование энергетического строения КТ было проведено методом стационарной ФЛ. Анализировалось смещение полосы ФЛ в зависимости от плотности мощности возбуждения. Структуры с большим количеством атомов Sb продемонстрировали смещение полосы ФЛ, присущее структурам второго рода [2], в то время как структуры с меньшим содержанием Sb – первого рода. Длительное затухание ФЛ КТ первого рода, вплоть до 100 мкс, указывает на то, что такие КТ имеют непрямую запрещённую зону в пространстве квазиимпульсов.

Были проведены расчёты энергетического строения КТ в зависимости от состава твёрдого раствора. Расчётные значения энергий оптического перехода КТ хорошо соотносятся с экспериментальными данными ФЛ. Основное электронное состояние КТ первого рода с непрямой запрещённой зоной принадлежит X_{xy} долине зоны проводимости.

-
1. A. V. Khaetskii, Yu. V. Nazarov, Phys. Rev. B 61, 12639 (2000);
 2. N. N. Ledentsov, J. Bohrer, *et. al.*, Phys. Rev. B 52, 14058 (1995).

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук Т. С. Шамирзаев

ШИРИНА ЗОНЫ ОБЕДНЕНИЯ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО РОСТА Si НА АТОМНО-ЧИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ Si(111)-(7×7)

Н. Е. Рыбин

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

Метод молекулярно-лучевой эпитаксии широко применяется для создания гетероструктур с прецизионным контролем толщины слоёв и профиля легирования. Детальное изучение атомных механизмов эпитаксиального роста представляет интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. Для изучения механизмов эпитаксиального роста используется количественный анализ концентрации двумерных островков, критической ширины террасы для зарождения островка или ширины зоны обеднения по островкам вблизи моноатомной ступени. Целью данной работы является определение механизмов двумерно-островкового зарождения при эпитаксиальном росте Si на атомно-чистой поверхности Si(111) со сверхструктурой (7×7) при повышенных температурах.

Для визуализации начальных стадий эпитаксии Si/Si(111)-(7×7) использовался *in situ* метод сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии, который позволяет визуализировать моноатомные ступени, двумерные островки и другие элементы морфологии поверхности кристалла. В результате экспериментов получена зависимость ширины зоны обеднения W от скорости осаждения кремния R , при температуре подложки 650°C. Такие зависимости описываются в рамках теории скоростей зародышеобразования [1] степенной аппроксимацией $W^2 \propto R^{-\chi}$, где показатель масштабирования χ связан с размером критического зародыша i . Обнаруженное экспериментальное значение $\chi \approx 1,0$ свидетельствует о режиме кинетики роста, лимитированном встраиванием атомов в ступень. В таком случае $\chi = \frac{2i}{i+3}$ [2], что соответствует критическому зародышу, состоящему из трёх частиц.

-
1. J. A. Venables Atomic processes in crystal growth // Surface Science – 1994 – V. 299/300, P. 798.
 2. D. Kandel Initial stages of thin film growth in the presence of island-edge barriers // Physical Review Letters – 1997 – V. 78, P. 499.

Научный руководитель: Д. И. Роголо

СЛАБАЯ АНТИЛОКАЛИЗАЦИЯ В ТРЕХМЕРНОМ ТОПОЛОГИЧЕСКОМ ИЗОЛЯТОРЕ НА ОСНОВЕ НАПРЯЖЕННОГО СЛОЯ ТЕЛЛУРИДА РТУТИ

М. Л. Савченко

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

Топологические изоляторы представляют собой новый класс веществ, одним из основных и необычных свойств которого является обязательное наличие поверхностных проводящих состояний [1]. Широкая квантовая яма на основе напряженного слоя HgTe является одним из примеров трехмерного топологического изолятора [2]. Существует множество теоретических предсказаний относительно транспортных свойств такой системы, однако еще не все из них проверены экспериментально. Данная работа посвящена экспериментальному исследованию квантовой поправки к проводимости квантовой ямы, связанной с самоинтерференцией электронов, движущихся по замкнутым траекториям. Измерения проводились на образце с управляемым затвором положением уровня Ферми при сверхнизких температурах.

Установлено, что в исследуемом диапазоне затворных напряжений поправка к проводимости трехмерного топологического на основе HgTe имеет положительную величину, то есть наблюдается слабая антилокализация. Неожиданным и впервые обнаруженным оказался факт, что поправка к проводимости не зависит от концентрации электронов, пока уровень Ферми находится в запрещенной зоне и электрический ток проходит только по поверхности образца. В работе проводится анализ экспериментальных кривых зависимости поправки к проводимости от магнитного поля на основе теории *Hikami* [3].

-
1. Markus König et al, Science 318, 766 (2007).
 2. D. A. Kozlov et al, Phys. Rev. Lett. 112, 196801 (2014).
 3. S. Hikami et al, Prog. Theor. Phys. 63, 707 (1980).

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

ПОДВИЖНАЯ ПОЛОСА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ALGAN/GAN ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ

И. А. Самусов

Новосибирский государственный университет

Широкозонные гетероструктуры играют важную роль в развитии мощных полупроводниковых усилителей. Одним из способов определения зонной структуры и состава является фотолюминесцентная (ФЛ) спектроскопия. В данной работе сообщается об исследовании необычной широкой полосы ФЛ в низкотемпературных спектрах гетероструктур AlGaIn/GaN с энергетическим максимумом около 3,17 эВ при стационарном возбуждении. Положение этой полосы сильно смещается в длинноволновую сторону со временем после импульса возбуждения. Другой особенностью этой полосы является падение интенсивности со временем в постоянных условиях при стационарном возбуждении с характерным временем 20 минут.

Измерения методами АСМ и ДРЛ показали более высокое качество МОСФЭ структур по сравнению с МЛЭ. В приведенных на рис. 1(а) спектрах низкотемпературной ФЛ полуширина экситонного пика составляла 6,3 Å для типичного МОСФЭ образца, что говорит о лучшем структурном качестве по сравнению с типичным МЛЭ образцом. В спектрах МОСФЭ образцов наблюдалась интенсивная полоса квази-донорно-акцепторной рекомбинации (Q-DAP) с пиковой энергией 3.17 эВ, что на 110 мэВ ниже, чем для хорошо известной донорно-акцепторной рекомбинации (DAP). В спектрах время-разрешенной ФЛ Q-DAP полоса сдвигается со временем после импульса возбуждения на величину порядка 160 мэВ (рис. 1(б)).

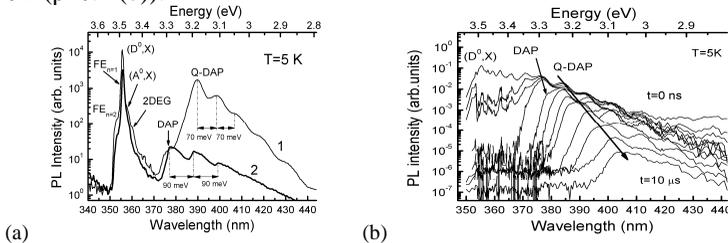


Рис.1. Низкотемпературные спектры типичных образцов, выращенных по МОСФЭ и МЛЭ технологиям (а); Время-разрешенные спектры ФЛ МОСФЭ образца (б)

Научный руководитель: И. В. Осинных

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ В ФТОРОГРАФЕНЕ МЕТОДОМ ЗАРЯДОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

А. А. Семенова

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

Фторографен - тончайший изолятор, сделанный путем присоединения атомов фтора к каждому атому углерода в графене. Он может использоваться в электронике.

Целью данной работы является исследование процессов перезарядки дискретных уровней квантовых точек в фторированных графеновых пленках методом зарядовой спектроскопии глубоких уровней (Q-DLTS) и электрофизических измерений.

Для получения фторированных графеновых пленок использовалась графеновая суспензия в диметилформамиде с плавиковой кислотой. В качестве подложки для пленок использовался кремний n и p типа проводимости с окисным слоем. Для изменения степени фторирования применялось варьирование времени (130, 180 дней) выдержки графеновых чешуек.

Проводились измерения вольт-амперных характеристик и параметров глубоких уровней квантовых точек в фторографене методом Q-DLTS.

В работе [1] было показано, что при неполной степени фторирования в пленках формируются квантовые точки размером 20-70 нм. Из спектров Q-DLTS (рис.1) были определены энергия активации носителей заряда. Были проведены оценки глубины потенциальной ямы для электронов в фторированных графеновых пленках.

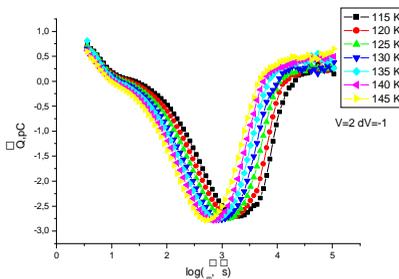


Рис.1 Спектр DLTS фторированной

1. N.A. Nebogatikova et. al. Graphene quantum dots in fluorographene matrix, Carbon, 77, p. 1095-1103, 2014.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЧНО ВОССТАНОВЛЕННЫХ ОКСИД ГРАФЕНОВЫХ ПЛЕНОК

А. А. Смагулова

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

Оксид графена и восстановленный оксид графена обладают инновационными механическими, электрическими, оптическими свойствами, поэтому они привлекают большое внимание ученых и в настоящее время активно исследуются.

Данная работа посвящена исследованию химического и лазерного восстановления оксид графеновых пленок, синтезированных из суспензий.

Оксид графеновые суспензии были получены с использованием модифицированного метода Хаммерса. В качестве подложек для оксид графеновых пленок использованы пластины кремния с оксидным слоем для проведения измерения сопротивлений и прозрачные стеклянные пластины для измерения прозрачности пленок. Химическое восстановление оксид графеновых пленок проводилось путем обработки в парах гидразина. Для фотовосстановления использовались лазеры с разными длинами волн. Для определения толщин пленок использовался атомно-силовой микроскоп. Структура поверхности пленок исследовалась с помощью металлографического и электронного микроскопов. До восстановления оксид графеновые пленки толщиной 9-150 нм имели прозрачность для длин волн 400-700 нм 93-98% и сопротивление 10^{12} Ом/□.

Эксперименты показали, что длительное восстановление в парах гидразина уменьшает прозрачность оксид графеновых пленок до 50% и увеличивает проводимость до 10^4 Ом/□. Толщина пленок при этом увеличивается за счет формирования блистеров в слоях пленок из-за выделения газов при протекании химических реакций восстановления оксида графена. Показана возможность послойного восстановления пленок и создания гетероструктур из проводящих и непроводящих слоев в единой пленке, что представляет интерес для расширения спектра применения оксид - графеновых пленок. Проведено сравнение химического и лазерного восстановления оксид графеновых пленок.

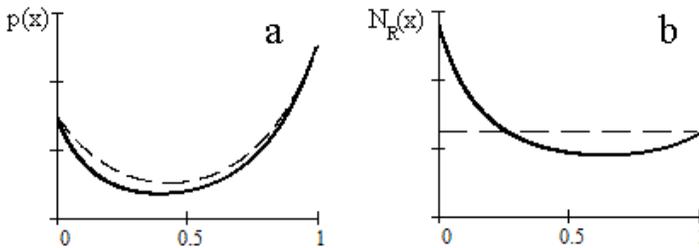
Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент С. А. Смагулова

ВЛИЯНИЕ НЕМОНОТОННОГО С МИНИМУМОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕКОМБИНАЦИОННОЙ ПРИМЕСИ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ p-i-n- СТРУКТУРЫ

В. Г. Стельмах

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

Если в p-i-n-структуре с достаточно длинной базой ($d \gg L$, d – длина базы, L – длина пробега неравновесных носителей заряда) инжекция пропорциональна плотности тока J , текущего через p-i-n-структуру (т.е. $p(0) = C_1 J$, $C_1 = \text{const}$), а аккумуляция пропорциональна корню квадратному этой плотности тока (т.е. $p(d) = C_2 J^{1/2}$, $C_2 = \text{const}$), то вольт-амперная характеристика (ВАХ) будет вида $J \sim U^4$ (см. [1]), если рекомбинационная примесь N_{R0} постоянна. Немонотонное с минимумом распределение концентрации рекомбинационной примеси вдоль базы p-i-n-структуры задавалось соотношением $N_R(x) = N_{R0} \cdot c / [(x-a)^2 \cdot (x-b)^2]$, где a , b и c – параметры описывающие форму этого распределения. Численными расчётами получено, что ВАХ при таком распределении будет вида $J \sim U^{4+\delta}$, где $\delta < 0.7$ зависит от a , b , c и отношения C_1/C_2 . На рисунке внизу (рис.1 а) качественно показано как меняется распределение неравновесных носителей $p(x)$ в базе p-i-n-структуры из-за вышезаданного распределения рекомбинационной примеси в ней (рис.1 б), пунктирные линии соответствуют $N_{R0} = \text{const}$.



1. Адирович Э.И., Карагеоргий-Алкалаев П.М., Лейдерман А.Ю. Токи двойной инжекции в полупроводниках. Москва, Советское Радио, 1978

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

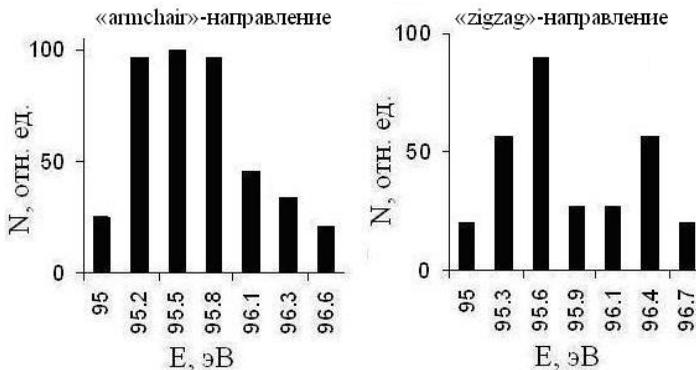
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТОМОВ УГЛЕРОДА, РАССЕЯННЫХ НА ГРАФЕНЕ ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕМ УГЛЕ 10°

В. Г. Стельмах

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Графен представляет собой двумерную гексагональную углеродную кристаллическую решётку. Компьютерным моделированием с использованием молекулярной динамики изучались процессы столкновения атомов углерода с кинетическими энергиями 100 эВ со свободным графеном при скользящем угле падения 10° , причем направления проекций на плоскость графена скоростей падающих атомов углерода выбиралось либо вдоль «zigzag»-направления либо вдоль «armchair»-направления графена. Для описания межатомного взаимодействия использовался потенциал Бреннера второго поколения [1], который хорошо описывает углеродные структуры.

На рисунке внизу приведены результаты моделирования в виде гистограмм энергетических распределений рассеянных атомов углерода, падавших с энергией 100 эВ на поверхность графена вдоль «armchair»-направления и вдоль «zigzag»-направления графена при скользящем угле падения 10° .



1. D.W. Brenner, O.A. Shenderova, J.A. Harrison, S.J. Stuart, B. Ni, S.B. Sinnott, J. Phys: Condens. Matter. 14, 783 (2002).

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук А. А. Джурахалов

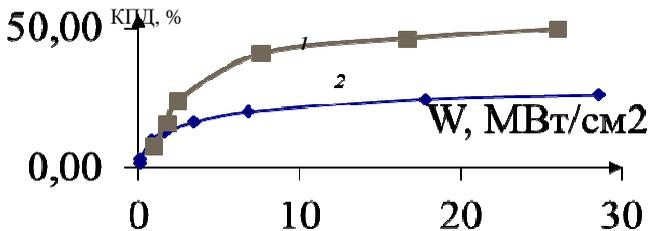
ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЛАЗЕРНОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОРАНЖЕВОГО ДИАПАЗОНА СПЕКТРА

Д. С. Табакаев

Томский государственный университет
Сибирский физико-технический институт, г. Томск

Создание и исследование лазерноактивных сред с высокими КПД и фотостабильностью является актуальным в силу требований современной медицины, биологии, спектроскопии. Так, в лаборатории Органической электроники СФТИ ТГУ, были синтезированы твердотельные лазерноактивные среды на основе полиметилметакрилата, допированного РМ-567 в различных концентрациях, модифицированные полиэдральными олигомерными силсеквиоксанами (POSS).

РМ-567 показывает себя одним из наиболее фотостойких, но без допирования POSS фотостабильность таких образцов не превышает $2 \cdot 10^5$, что, несмотря на дешевизну подобных ЛАЭ, является серьёзным недостатком. Для его устранения во время синтеза в объём образцов вводятся частицы POSS, и целесообразность этого видна из рисунка 1.



1 – кривая, соответствующая образцу с 8% POSS; 2 – образцу без POSS.

Связать рост КПД излучения с ростом фотостабильности достаточно просто, так для получения излучения с теми же характеристиками требуется прикладывать меньшие плотности мощности накачки, что приводит к увеличению срока работы ЛАЭ. Повышая таким образом фотостойкость ЛАЭ, становится возможным создание твердотельного импульсного лазера на их основе.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Е. Н. Тельминов

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕГРАДАЦИИ СВЕРХЪЯРКИХ СВЕТОДИОДОВ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ПЛОТНОСТЯХ РАБОЧЕГО ТОКА

А. А. Томашевич, А. В. Ермолаев, Д. В. Петенев
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

В настоящее время развитие полупроводниковых осветительных устройств на основе гетероструктур нитрида галлия идет очень высокими темпами. Важной особенностью полупроводниковых источников освещения является то, что они, в отличие от традиционных ламп, через долгое время не выходят из строя. Наблюдается лишь постепенное снижение их светового потока. Основным недостатком светодиодных осветительных приборов является высокая цена. Производители решают эту проблему наиболее простым способом – увеличением плотности тока, проходящего через светодиодный чип. Однако при повышении плотности тока резко увеличивается интенсивность деградации, что приводит к значительному ухудшению показателей качества, уменьшению срока службы и деградации практически всех параметров.

В данной работе проведены комплексные исследования деградации СД с помощью установки, в которую входят: блок измерения прямой и обратной ветвей вольтамперной характеристики (ВАХ) в области микротоков, оптический блок, блок ультрафиолетовой подсветки.

Установка позволяет проводить одновременные комплексные электрооптические исследования по определению электрических характеристик, концентрации и распределения протяженных дефектов по поверхности кристалла СД (картографирование), с целью выявления степени неоднородности световых и тепловых потоков по площади и уточнения моделей тепловых процессов в мощных светоизлучающих диодах. Поскольку деградация связана с образованием дефектов, данная установка обеспечивает возможность ранней диагностики СД.

Комплексное исследование механизмов деградации СД позволит подбирать рабочие токи для получения оптимальных оптических, электрических и температурных параметров на основании требуемого срока эксплуатации светодиодных осветительных приборов. Это позволит значительно снизить рыночную стоимость готового изделия без потери качества благодаря полученному оптимальному соотношению рабочего тока к сроку службы.

Научный руководитель: д-р физ.-мат наук, проф. С. Г. Еханин

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА НИКЕЛЯ

М. А. Черосов

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

Физические свойства кристаллов зависят от типа их симметрии, электронного и энергетического строения. Для описания электронных спектров и свойств систем с ковалентными и ионными связями зачастую использовались феноменологические модели, которые не позволяли выявить основные тенденции и закономерности электронного строения кристаллов. В последнее время появилась реальная возможность проведения соответствующих расчетов из первых принципов с использованием высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем.

В настоящей работе приведены результаты квантово-химических расчетов никеля. Расчеты электронной структуры выполнены в рамках теории функционала плотности. Результаты расчетов позволяют выявить особенности зонной структуры, определяющие проявление нетривиальных структурных, магнитных свойств этих систем.

Научный руководитель: канд физ.-мат. наук, доцент Е. П. Шарин

СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ОКСИД/InAs, СФОРМИРОВАННОЙ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

А. Ю. Широков, М. С. Аксенов

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

Структуры металл-диэлектрик-проводник (МДП) на основе InAs являются перспективными для создания таких устройств, как полевые, спиновые транзисторы и инфракрасные фотоприемники. Основной проблемой, препятствующей использованию InAs в приборных структурах, является отсутствие диэлектрика, граница раздела с которым имела бы низкую плотность поверхностных (ПП) состояний.

Пассивация поверхности InAs фторсодержащими слоями, полученными анодным окислением в кислотном электролите, позволила получить низкую $(2-12) \cdot 10^{10} \text{ эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$ ПП состояний. Однако при этом не удалось получить однородную тонкую пленку $<5\text{nm}$ и решить проблему гистерезиса ВФХ, причиной которого являются подвижные OH^- и F^- -ионы, входящие в состав электролита.

Альтернативным способом пассивации поверхности InAs является формирование анодных оксидов в плазме низкотемпературной плазме газового разряда. Отличительными особенностями метода данного являются: простой химический состав газовой смеси (особо чистые Ag , O_2 и источник ионов фтора – CF_4), возможность создания тонких ($<5 \text{ nm}$) и однородных по площади окисления пленок, а также возможность визуального контроля процесса окисления.

В данной работе показано, что анодное окисление в низкотемпературной плазме газового разряда не оказывает влияния на морфологию поверхности, создает структурированную границу раздела оксид/InAs, уменьшает величину ПП состояний до величины менее $10^{11} \text{ эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$, позволяет практически полностью избавиться от встроенного заряда ($V_{\text{fb}} < 0,5\text{В}$) и уменьшить величину гистерезиса до $5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/см}^2$ при поле в слое $2 \cdot 10^6 \text{ В/см}$.

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

СВЕТО/ФОТОДИОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ДАТЧИКА КОНЦЕНТРАЦИИ CO₂

К. С. Элоян, К. С. Морозов
Новосибирский государственный университет

В современном мире стал актуальным мониторинг чистоты воздуха в помещении. В общем случае были разработаны множество различных видов датчиков, определяющие концентрации некоторых видов газа в помещении. Одним из таких газов является CO₂. Углекислый газ при больших (более 1000 р.р.м.) концентрациях наносит вред организму человека. В создании датчика концентрации CO₂ использовался оптический метод определения концентрации газа, в котором источником света являлась лампа накаливания с широким диапазоном спектра излучения. Это приводило к тому, что большая часть излучения отсеивалась из-за оптических фильтров.

Для уменьшения энергозатрат было принято решение использовать свето/фотодиоды. Таким образом, целью данной работы является создание свето/фотодиода для оптической части датчика концентрации CO₂. Для создания свето/фотодиодов в среднем-ИК диапазоне используются различные прямозонные полупроводники[1] с узкой шириной запрещённой зоны. CO₂ имеет пик максимума поглощения на длине волны равной 4,23 мкм. Поэтому свето/фотодиод должен иметь чувствительность на этой длине волны.

В ходе данной работы были получены теоретические спектры излучения и фоточувствительность свето/фотодиодных структур на основе AlInAs, InAsSb и GaInAs с помощью программы по моделированию процессов рекомбинации. Далее получены сами структуры методом жидкофазной эпитаксии и проведены эксперименты по определению реальных спектров. Как показали сравнение теории с практическими снятыми данными, для датчика концентрации CO₂ подошла лишь одна структура.

Работа выполнена в рамках института физики полупроводников им. А.В. Ржанова и АО «Тион Умный микроклимат».

1. Desmond Gibson and Calum McGregor, A Novel Solid State Non-Dispersive Infrared CO₂ Gas Sensor Compatible with Wireless and Portable Deployment/

Научный руководитель: Д. С. Волков

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСЦИЛЛЯЦИИ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

У. И. Эркабоев

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

Квантование энергетических уровней в магнитном поле обуславливает вклад свободных носителей в диа- и парамагнитную восприимчивость кристаллов. Оно приводит также к существенному изменению вида плотности состояний как функции энергии. Все эффекты, зависящие от плотности состояний, могут при некоторых условиях осциллировать с периодом, определяемым интервалом между двумя последовательными совпадениями уровня Ландау. Это обстоятельство проявляется в том, что в выраженном электронном газе многие термодинамические, электрические и оптические величины, выражающиеся через плотность состояний, при определенных условиях осциллируют при изменении магнитной индукции и при низких температурах. Свободная энергия электрона в квантующем магнитном поле определяется по следующей формуле:

$$F = n\xi + \frac{16m^{3/2}(\mu^*H)^{5/2}}{3\pi^2\hbar^3} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_N \left(\frac{\varepsilon}{2\mu^*H} - (N + 1/2) \right)^{3/2} \frac{\partial f_0(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} d\varepsilon \quad (1)$$

Где $\mu^* = \left(\frac{m}{m^*} \right) \mu_B$, N-число уровней Ландау,

$$\frac{\partial f_0(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} = - \frac{\exp\left(\frac{\varepsilon - \xi}{kT}\right)}{\left(\exp\left(\frac{\varepsilon - \xi}{kT}\right) + 1 \right)^2 kT} \quad (2)$$

Производная второго порядка от $F(H, T)$ по напряженности магнитного поля, есть магнитная восприимчивости

$$\chi(H, T) = - \frac{\partial^2 F(H, T)}{\partial H^2} \quad (3)$$

Тогда можно рассчитать температурную зависимость осцилляций магнитной восприимчивости с помощью формул (2) и (3). Отсюда следует, что с ростом температуры резкие всплески начинают сглаживаться и при достаточно высоких температурах $\chi(H, T)$ превращается в сплошной спектр осцилляции магнитной восприимчивости.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. Г. Гулямов

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КОМПЛЕКСОВ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ

С. Эшмаматов

Самаркандский государственный университет им. А. Навои,
г. Самарканд, Узбекистан

Как известно в результате взаимодействия примесных атомов, в определенных условиях образуется электронейтральные комплексы примесных атомов. Поскольку эти комплексы находятся основном электронейтральном состоянии. Поэтому прямого определения их концентрации по существующим электрофизическими или фотоэлектрическими методами не представляют возможным. Также трудно применяют другие резонансные методы, поскольку эти комплексы не содержит неспаренные электроны.

Поэтому для определения концентрации таких комплексов решили уравнения электронейтральности с использованием результатов электрических и гальванических свойства для каждого конкретного случая. Поскольку мы использовали в качестве исходного материала КДБ-(1÷10) Ом·см, постоянным легирующим примесных атомов сера, которые являются донором в кремнии. Концентрации электроактивных атомов сера определяли решением уравнение нейтральности с использованием экспериментальные данные

$$N_s = \left(\frac{p_0 + n + N_s f(E_1) + N_s f(E_2)}{2} \right) \quad (1)$$

где p_0 –концентрации дырок в исходном материале, n -концентрации электронов легирующих сера (S), $N_s f(E_1)$ и $N_s f(E_2)$ -состоянии заполнением первой и второй энергетической уровни серы в кремнии. Когда мы будем легировать $Si\langle B, S \rangle$ один из с дополнительными примесями (Co, Ni, Zn, Cd) в определенных условиях образца $Si\langle B, S + n\text{примесь} \rangle$ возвращается полностью до исходного состояние т.е. $Si\langle B \rangle$. Это означает, что весь атомы S полностью участвует в комплексообразование. В этом случае концентрации комплексов определяется:

$$\text{для материала } n \text{ типа } N_{\text{KCHU}} = N_s - n_1 - N_s f(E_1) - N_s f(E_2) \quad (2),$$

$$\text{а для материала } p \text{ типа } N_{\text{KCHU}} = N_s - p_1 \quad (3),$$

где N_s –общая концентрации серы в Si, n_1 и p_1 -концентрация электронов и дырок после легирование дополнительными примесями. Из эксперимента на основе (1) можно определить N_s и p_0 , n , n_1 , p_1 . Таким образом максимальная концентрация комплексов ограничивается концентрации N_s в кремнии.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ В КРЕМНИИ

С. Эшмаматов

Самаркандский государственный университет им. А. Навои

Известно, что в современной электронике привел к снижению температур, используемых на всех этапах технология изготовления приборных структур до 400 - 800 °С. В то же время отжиг кристаллов кремния при относительно невысоких температурах приводит к формированию электрически активных центров как донорного так и акцепторного типа. Несмотря на то что термодоноры исследуются течение много лет. В последнее время наиболее распространены модели, согласно которым образование термодоноров происходит путем последовательного при соединении атомов кислорода к заряженному ядру. Это приводит к формированию серии близко расположенных энергетических уровней в близи дна зоны проводимости. С другой стороны, несомненно, что на процессы выделения кислорода из пересыщенного раствора кислорода в кремнии в термообработках оказывает воздействие дефектная структура кристалла, которая определяется прежде всего ростовыми дефектами и дефектами, формируемыми в процессе создания приборов. При измерении концентрации носителей заряда в кристаллах кремния обычно бывает трудно разделить вклад термодоноров, формируемых при 450 °С. Исследовались монокристаллы кремния выращенного методом Чохральского и имеющие p – тип проводимости с концентрацией легирующей примеси бора.

Экспериментальные результаты показывает, что увеличение дозы облучения и времени отжига при 450 – 470 °С приводит в некоторых областях кристалла к доминирующей генерации термодоноров (изменение типа проводимости исходно p – типа материала на n – тип), а в других – к преобладанию термоакцепторов. После отжига 450 °С неоднородность распределения концентрации электрически активных центров в кристаллах уже начинает коррелировать с неравномерным распределением межзельного кислорода в исследуемых образцах, по видимому, за счет усиления флуктуаций в распределении кислорода. Облучение монокристаллов кремния электронами и последующий отжиг при 450 °С приводят к образованию областей n - и p – типа проводимости в объеме монокристаллического кремния. Неоднородность распределения термоакцепторов и термодоноров коррелирует с изменением содержания кислорода в кремнии. При увеличении времени отжига начинают доминировать термодоноры. Механизм термоакцепторов и термодоноров, наиболее вероятно обусловлен участием вакансионных дефектов в процессе формирования этих центров.

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

ПОИСК НЕЙТРОН-АНТИНЕЙТРОННЫХ СОБЫТИЙ НА ДЕТЕКТОРЕ КМД-3

А. Н. Амирханов

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

На данный момент сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \bar{n}n$ в области энергий от порога рождения $\bar{n}n$ до 2 ГэВ в с.ц.м. изучено достаточно плохо. Данные, полученные с помощью электрон-позитронного накопителя ВЭПП-2000 с двумя универсальными детекторами – КМД-3 и СНД, расположенного в Институте Ядерной Физики им. Г.И. Будкера, позволяют измерить сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \bar{n}n$. В частности, в 2014 году опубликованы результаты подобного измерения, проведенные с детектором СНД. Данная работа посвящена развитию методики выделения событий $\bar{n}n$ на детекторе КМД-3.

Событие $\bar{n}n$ в детекторе КМД-3 характеризуется ассиметричным взаимодействием с веществом калориметров, т.к. взаимодействует только антинейтрон, а также относительно большим энерговыделением. Другой отличительной чертой в данном диапазоне энергий является достаточно маленькая скорость пары $\bar{n}n$ относительно скорости света, поэтому события можно идентифицировать с помощью времяпролетной системы КМД-3.

Основным критерием отбора является форма кластера, которая определяется с помощью метода моментов инерции. Выделение событий $\bar{n}n$ осложняется большим количеством космических событий, часть которых трудно отделить от событий сигнала. Для оптимального использования измеренных моментов инерции кластера в качестве критерия отбора антинейтронов был использован алгоритм нейронной сети, по отклику которой удалось подавить значительную часть космических событий.

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

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ПРОЦЕССОВ $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$, $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^+\pi^-$ НА ДЕТЕКТОРЕ КМД-3

С. С. Грибанов

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

Сечение аннигиляции электрон-позитронной пары в адроны необходимо для определения адронной поляризации вакуума, которая дает вклад в величину константы электромагнитного взаимодействия $\alpha(M_Z)$ и аномальный магнитный момент мюона. Сравнение теоретических расчетов и экспериментальных измерений аномального магнитного момента мюона дает возможность выполнить проверку Стандартной модели. Кроме того, изучение динамики аннигиляции в адроны дает информацию для проверки различного рода феноменологических теорий.

Работа посвящена измерению борновских сечений аннигиляции электрон-позитронной пары в $\eta\pi^+\pi^-$ и $\omega\pi^+\pi^-$. Изучались процессы $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ ($\eta \rightarrow \gamma\gamma$), $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ ($\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$) и $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^+\pi^-$ ($\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$). В работе использовались данные с детектора КМД-3, набранные в 2011-2012 годах в диапазоне от 1200 МэВ до 2000 МэВ по энергии в системе центра инерции. Суммарная светимость обработанных событий составляет $3 \cdot 10^4$ нб. Число событий процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ ($\eta \rightarrow \gamma\gamma$) в эксперименте определялось путем подгонки распределения по инвариантной массе двух фотонов, число событий процессов $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ ($\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$) и $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^+\pi^-$ ($\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$) – из подгонки распределения по инвариантной массе трех пионов. В качестве подгоночных функций использовались формы спектров из моделирования плюс подложки, отвечающие за распределение фона. Эффективность отбора событий определялась из моделирования.

Полученный результат согласуется с предыдущими измерениями сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ на детекторах BaBar, КМД-2 и СНД [1-2].

1. V. M. Aulchenko, M. N. Achasov, A. Yu Barnyakov et al., “Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ cross section in the center-of-mass energy range 1.22--2.00 GeV with the SND detector at the VEPP-2000 collider”, arXiv:1412.1971v2 (2014).

2. R. R. Akhmetshin, E. V. Anashkin, ..., A. S. Popov et al., “Study of the process $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\pi^0$, $2(\pi^+\pi^-)\eta$, $K^+K^-\pi^+\pi^-\pi^0$ and $K^+K^-\pi^+\pi^-\eta$ Cross Sections Measured with Initial-State Radiation”, Phys.Lett.B489:125_130 (2000).

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. С. Попов

УЗЛОВЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА И ПРОБЛЕМА КВАНТОВАНИЯ ЗАРЯДА

В. Н. Жабин

Новосибирский государственный университет
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера, г. Новосибирск

В электромагнитных полях, описываемых уравнениями Максвелла, заряд не является дискретным. В модели [1] поле задается двумя скалярными функциями. Из топологических соображений следует, что заряд определяется числом зацеплений двух силовых линий и является дискретным. Существуют узловые решения [2], соответствующие этой модели. Силовые линии такого поля лежат на тороидальных поверхностях, свернутых в математический узел. Из структуры поля видно, что константа взаимодействия умножается на целое число, определяемое параметрами узла, который формируют силовые линии. Таким образом, константу взаимодействия можно увеличить, что позволяет выйти за пределы теории возмущений и влияет на зависимость поля от расстояния.

Целью работы было сконструировать экспериментальную установку, создающую электромагнитное поле, описываемое этими уравнениями. Установка представляла собой тороидальную катушку, состоящую из 92 отдельных катушек, которые были повернуты одна к другой противоположными полюсами. Для расчета геометрии установки было разработано специальное программное обеспечение, позволяющее моделировать силовые линии поля.

Была измерена ее АЧХ и выявлены резонансы Фано. Необычные свойства катушки были обнаружены в районе частоты 65 МГц, а именно: наличие двух близких резонансов Фано и узловая конфигурация электромагнитного поля. При такой частоте в провод катушки укладывается один полный период волны. Имеется качественное согласие с моделью узлового поля на частоте 65 МГц.

1. Antonio F. Ranada Topological electromagnetism, J. Phys. A: Math Gen 25 (1992) 1621–1641.

2. Hridayesh Kedia, Iwo Bialynicki-Birula, Daniel Peralta-Salas, and William T. M. Irvine, Tying Knots in Light Fields, Phys. Rev. Lett. 111.150404 (2013).

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. Г. Харламов

ДЕТЕКТОР ИОНОВ НА ОСНОВЕ ГАЗОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ ДЛЯ УСКОРИТЕЛЬНОЙ АТОМНОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

К. В. Затримайлов

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

В ИЯФ СО РАН разработан ускорительный масс-спектрометр, применяющийся для радиоуглеродного датирования археологических и геологических образцов. В основе метода лежит определение концентрации радиоактивных материалов в образце, например, изотопа углерода C^{14} и изотопа бериллия Be^{10} . Однако существует проблема отделения этих изотопов от других изотопов того же элемента, а также от изобар, то есть нуклидов других элементов, имеющих одинаковое с ними массовое число. Поэтому была сформулирована задача идентификации ионов, в частности, трёх различных изотопов углерода (C^{12} , C^{13} и C^{14}), а также изобарных бора и бериллия (B^{10} и Be^{10}).

Для этих целей разработан проект детектора ионов, представляющего собой камеру, наполненную изобутаном при низком давлении. В передней стенке камеры расположено “окно” из майлара, через которое будут проходить ионы, а в другом её конце размещены толстые ГЭУ (THGEM) и считывающий электрод (анод). Ионы будут двигаться в приложенном электрическом поле (для подачи напряжения в камеру вделаны 7 высоковольтных тоководов). Для калибровки детектора предлагается использовать источник α -частиц на основе америция.

Данная работа посвящена моделированию прохождения частиц через изобутан для определения требуемых параметров детектора. Были получены пробеги ионов и α -частиц в газе и зависимости их энерговыделения от пройденного ими расстояния. Также была определена примерная форма выходного сигнала детектора с учётом флуктуаций числа электронов первичной ионизации и диффузии электронов. Для моделирования использовалась программа SRIM, а последующие расчёты выполнены в программном пакете ROOT.

В работе показано, что в детекторе невозможно разделить отдельные изотопы углерода, но изобары B^{10} и Be^{10} могут быть разделены с высокой точностью. Кроме того, длина пробега α -частиц от используемого источника превышает длину камеры, поэтому необходимо использовать слой деградатора (майлар).

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук А. Ф. Бузулуцков

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА $e+e- \rightarrow \Phi\eta$ С ДЕТЕКТОРОМ КМД-3 НА КОЛЛАЙДЕРЕ ВЭПП-2000

В. Л. Иванов

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

Начиная с 2011-го года в Институте ядерной физики СО РАН на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 с детекторами КМД-3 и СНД ведется набор экспериментальных данных. Коллайдер сканирует энергии в диапазоне от 0.3 до 2 ГэВ, максимальная планируемая светимость - $2 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Целью экспериментов является измерение сечений и изучение динамики $e+e-$ - аннигиляции в адроны при низких энергиях; определение параметров легких векторных мезонов и других промежуточных частиц; поиск экзотических состояний (тетракварки, глоболы и др.). Данные с СНД и КМД-3 имеют большое значение для: 1) увеличения точности предсказания адронного вклада в аномальный магнитный момент мюона в рамках Стандартной Модели; 2) разработки теоретических моделей КХД при низких энергиях; 3) проверки гипотезы сохранения векторного тока при сопоставлении данных прямых измерений сечения $e+e-$ - аннигиляции с данными из распадов тау-лептонов.

Целью данной работы было измерение сечения процесса $e+e- \rightarrow \Phi\eta$, причем Φ распадается в $K+K$ -. Ранее данный процесс исследовался коллаборацией BaBar в модах распада $\eta \rightarrow 2\gamma$ и $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, было найдено ~ 480 и ~ 250 сигнальных событий соответственно. В данной работе мы не реконструируем η -мезон по продуктам его распада, что позволяет в разы увеличить статистику и не требует вычисления поправок к эффективности регистрации нейтральных частиц, но взамен осложняет вычитание фона. Для определения критериев отбора и эффективности регистрации сигнальных событий был создан Монте-Карло генератор процесса, воспроизводящий его динамику. Основными фоновыми процессами в данном анализе являются $e+e- \rightarrow K+K-\pi^+\pi^-$, $K^*K\pi^0$, $\Phi\pi^0(500)$. Отделение сигнала от фона производится фитированием распределения по полной энергии, посчитанной по импульсам каонов, в предположении, что частица отдачи - η -мезон. Всего отобрано ~ 1800 сигнальных событий. Полученное сечение имеет заметно лучшую статистическую точность, а его фитирование позволяет точнее определить параметры $\Phi(1680)$ -мезона.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. Г. В. Федотович

**ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА $e^+e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ С
ДЕТЕКТОРОМ КМД-3**

О. А. Коваленко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ является одним из основных адронных каналов e^+e^- аннигиляции в области энергии до 2 ГэВ. Сечение этого процесса дает заметный вклад в адронную поляризацию вакуума, величину которой необходимо знать для прецизионного вычисления аномального магнитного момента мюона. Сравнение экспериментального и теоретического значений аномального магнитного момента является важным тестом Стандартной модели.

Эксперимент был проведен с детектором КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000. В работе анализируются данные 2011-2013 годов, с интегральной светимостью 45 1/пбн.

Для анализа отбирались события с двумя неколлинеарными треками от π^+ и π^- и двумя и более фотонами. Ограничения на недостающую массу к $\pi^+ \pi^-$ и импульсы заряженных частиц использовались для подавления адронного фона, для подавления фона от электродинамических процессов $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$, $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ накладывались условия на энергию, выделенную в калориметре. Дальнейший отбор включал в себя кинематическую реконструкцию $\pi^+ \pi^- \pi^0$ - при условии сохранения энергии и импульса варьировались параметры заряженных частиц и пар фотонов и вычислялся χ^2 . Распределение инвариантной массы двух фотонов, которые дали наименьший χ^2 , подгонялось суммой функций для фона и сигнала, откуда было получено число событий $\pi^+ \pi^- \pi^0$. Эффективность регистрации была рассчитана из моделирования. Поправки к эффективности реконструкции фотонов и триггера были вычислены на основе экспериментальных данных. Радиационные поправки также были учтены при определении сечения.

В данной работе были получены предварительные результаты по сечению $e^+e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ в диапазоне энергий от 1 до 2 ГэВ в с. ц. м.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук Б. А. Шварц

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ В ТРИ ПСЕВДОСКАЛЯРНЫХ МЕЗОНА

Е. А. Козырев

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

Изучение свойств аннигиляции электрон-позитронной пары в адроны при энергии в с.ц.м. меньше 3 ГэВ является важной экспериментальной задачей ввиду непертурбативности КХД в этой области энергий и, как следствие, отсутствия точных теоретических предсказаний. Искомые сечения нужны для расчета вклада адронной поляризации вакуума в бегущую электромагнитную постоянную и аномальный магнитный момент мюона. Сравнение этого момента со значением, измеренным непосредственно, важно для проверки Стандартной Модели. Кроме того, изучаемый в данной работе процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$ в приближении сохранения G-четности содержит изовекторные промежуточные состояния, что позволяет произвести сравнение этого процесса со спектральной функцией распада $T \rightarrow \pi^0\pi^-\eta\nu_T$, протекающего также через векторный ток. Данное сравнение с прецизионной точностью важно для проверки CVC гипотезы, изучения как изотопических поправок так и электро-магнитного смешивания изовекторного и изоскалярного токов. Другой важной целью изучения рождения трех псевдоскалярных мезонов является определение параметров возбужденных состояний векторных промежуточных состояний.

В данной работе представлены предварительные результаты изучения процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$ в области энергий 1.1 — 3.2 ГэВ в с.ц.м.. Систематическая точность определения сечения процесса в значительной степени связана со знанием эффективности регистрации η -мезона по распаду на два фотона. В представляемой работе разработана методика определения эффективности регистрации π^0 , являющегося аналогом η -мезона с точки зрения его регистрации в детекторе. Данная методика основана на идентификации процесса $e^+e^- \rightarrow \omega(\gamma) \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0(\gamma)$ как с требованием регистрации нейтрального пиона так и без этого требования, что позволило с прецизионной точностью 1% определить поправку к эффективности регистрации π^0 в эксперименте по сравнению с моделированием.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук Е. П. Солодов

АДРОННЫЙ ВКЛАД В СВЕРХТОНКУЮ СТРУКТУРУ МЮОНИЯ

А. А. Коробов

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

Сверхтонкая структура двухчастичной водородоподобной системы представляет большой интерес, так как ее измерение дает возможность прецизионных тестов квантовой электродинамики (КЭД) для связанных состояний и определения таких фундаментальных констант, как постоянная тонкой структуры и отношение массы электрона к массе мюона. Так, например, самое точное значение для отношения массы электрона к массе мюона может быть получено из измерения сверхтонкой структуры мюония - связанного состояния положительного мюона и электрона. Так как лептоны являются точечными частицами в отличие от протона, расчет сверхтонкой структуры мюония проще, чем аналогичный расчет для атома водорода, в котором требуется знание с высокой точностью магнитного форм фактора протона при низких передачах импульса.

Экспериментальное значение для сверхтонкой структуры мюония равно $4\,463\,302.776(51)$ кГц с относительной точностью 0.011 частей на миллион. Теоретическое выражение содержит четыре слагаемых. Первое слагаемое, так называемая энергия Ферми, было получено из нерелятивистского взаимодействия магнитных моментов и его значение равно $4\,459\,031.920(511)(34)$ кГц. Второе и третье слагаемые считаются, используя только КЭД и теорию слабого взаимодействия.

Целью данной работы является расчет четвертого слагаемого - адронного вклада или вклада сильного взаимодействия. Расчет производится на основе экспериментальной зависимости сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны от энергии. Использование новых экспериментальных данных, полученных в последнее время методом радиационного возврата, а также сканирования на установках ВЭПП-2М и ВЭПП-2000, позволяет заметно улучшить точность расчета.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. С. И. Эйделман

ПРИМЕНЕНИЕ КВАЗИКЛАССИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОПИСАНИЮ ПРОЦЕССОВ В ПОЛЕ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

П. А. Крачков

Новосибирский государственный университет

Квантово электродинамические процессы в поле тяжелого ядра при высоких энергиях - классический пример процессов в сильном поле. Для таких процессов безразмерный параметр $Z\alpha$ не является малым, поэтому при использовании теории возмущения, вклад высоких порядков имеет значительную роль.

Пертурбативный подход оказывается неэффективным, так как сложность вычисления растет факториально с порядком теории возмущения.

Рассмотрение процессов КЭД удобно проводить с помощью волновых функций и функций Грина, являющихся решением уравнения Дирака во внешнем поле. В случае большой, по сравнению с массой энергии частиц и малых углов рассеяния, когда характерные угловые моменты велики, применимо квазиклассическое приближение.

Использование квазиклассических волновых функций и функций Грина существенно упрощает вычисления.

Этот подход позволяет вычислять дифференциальные сечения различных КЭД процессов не только в кулоновском поле, но и для произвольного экранированного атомного потенциала.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук проф. А. И. Мильштейн

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ГАЗОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ

Т. В. Мальцев

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

Детекторы элементарных частиц на основе газовых электронных умножителей активно применяются во многих экспериментах физики высоких энергий.

Газовый электронный умножитель (ГЭУ) относится к классу микроструктурных газовых детекторов, работающих в лавинном режиме. Принцип газового усиления в микроотверстиях, используемый в ГЭУ, позволяет создавать эффективно работающие каскады этих устройств, причём наиболее распространёнными оказались трёхкаскадные системы.

Многообразие физических явлений, лежащих в основе работы и обнаруженных в исследованиях, а также оптимальные по многим показателям регистрирующие характеристики ГЭУ определяют важность и актуальность дальнейшего изучения подобных детекторов.

Данная работа содержит экспериментальное исследование, а также моделирование детекторов на основе трёхкаскадных ГЭУ. С использованием выведенного электронного пучка накопителя ВЭПП-4М, был поставлен эксперимент с участием трёх детекторов на основе ГЭУ. Цель эксперимента включала, во-первых, изучение оптимальных условий работоспособности детекторов, а во-вторых, определение количества материала в одном из них по многократному рассеянию частиц. В моделировании изучалось влияние на пространственное разрешение детектора его конфигурации и алгоритма восстановления координаты трека частицы.

В экспериментальном исследовании изучалась зависимость эффективности регистрации каждого детектора от различных параметров. Рассчитанное по данным эксперимента количество материала одного из детекторов составило 0,12% радиационной длины, что оказалось в среднем ниже теоретической оценки, равной 0,15% радиационной длины. Результатом моделирования явилось построение зависимостей пространственного разрешения детектора от перечисленных выше параметров и определение такой их конфигурации, при которой пространственное разрешение достигает минимума.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук Л. И. Шехтман

РЕКОНСТРУКЦИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ С МАЛЫМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ В ДЕТЕКТОРЕ АТЛАС

П. С. Подберёзко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Физический анализ данных с современных детекторов элементарных частиц – это сложный многоступенчатый процесс, требующий точности и последовательного учета множества факторов, влияющих на результат. Одним из этапов обработки данных с детектора «АТЛАС» является реконструкция и идентификация электронов и позитронов, правильное выполнение которых важно для исследования практически любого физического процесса.

В данной работе измерение эффективности реконструкции и идентификации электронов в центральной части детектора «АТЛАС» с $|\eta| < 2.47$ производилось на данных протон-протонных столкновений на БАК, записанных в 2012 году при энергии в системе центра масс 8 ТэВ, интегральная светимость которых составляет 20.3 фб^{-1} .

В детекторе «АТЛАС» электроны и позитроны отделяются от других частиц путем использования нескольких наборов идентификационных критериев с различным уровнем отбраковки фона и эффективности сигнала. Измерение эффективности реконструкции и идентификации основано на методе поиска в достаточной степени достоверно идентифицированного электрона или позитрона («тэг» электрон), по которому осуществляется мечение события для дальнейшего использования, и затем отбора, основанного на параметрах трека частиц и их энергосодержании в детекторе, пробных электронов или позитронов, по которым измеряется эффективность. В работе отбирались распады J/ψ -резонанса на электрон-позитронную пару для измерения эффективности идентификации низкоэнергетических электронов и позитронов.

В данной работе измерена эффективность идентификации электронов и позитронов с поперечными импульсами до 20 ГэВ, произведено варьирование условий отбора, получены систематические ошибки измерения эффективности. Написан пакет программ для применения метода к новому формату xAOD данных детектора «АТЛАС».

Научные руководители: д-р физ.-мат. наук Ю. А. Тихонов, А. Л. Масленников

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА $e^+e^- \rightarrow \eta \pi^+\pi^-$
В КАНАЛЕ РАСПАДА $\eta \rightarrow 3\pi^0$ С ДЕТЕКТОРОМ СНД**

Е. В. Рогозина

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

Изучение аннигиляции электрон-позитронной пары в адроны необходимо для расчета вклада адронной поляризации вакуума в аномальный магнитный момент мюона и проверки Стандартной модели. Основным механизмом процесса $e^+e^- \rightarrow \eta \pi^+\pi^-$ является механизм $e^+e^- \rightarrow \rho(1450) \rightarrow \eta\rho(770)$, поэтому этот процесс важен для определения параметров резонанса $\rho(1450)$. Также данные могут использоваться для проверки гипотезы сохранения векторного тока. Канал распада $\eta \rightarrow 3\pi^0$ с шестью фотонами в конечном состоянии является низкофоновым на низких энергиях и может позволить улучшить измерение сечения, и увеличить статистику дополнительно к измерению в канале 2γ в среднем диапазоне энергий.

Данные были получены на детекторе СНД, работающем на ускорительном комплексе ВЭПП-2000 в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН. В анализе использовались данные 2011 года с интегральной светимостью 20.5 пб^{-1} в области $1.1 - 2 \text{ ГэВ}$.

Были определены условия отбора. Основной фон на низких энергиях даёт процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$. События эффекта и фона разделялись по χ^2 кинематической реконструкции в гипотезах $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0\pi^0$ и $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$. Форма пика η мезона определялась по моделированию. Форма спектра и количество событий фона определялись по моделированию.

В данной работе представлены предварительные результаты по сечению $e^+e^- \rightarrow \eta \pi^+\pi^-$.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Д. А. Штоль

РЕГУЛЯРНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ДВУХ КВАНТОВЫХ КОНДЕНСАТОВ В ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

А. А. Уразалина, А. А. Махмудов

Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

В настоящее время существует довольно много работ, исследующих асимптотически плоские решения, создаваемые фундаментальными полями: электромагнитным, скалярным и т. д. Особый интерес среди них представляют регулярные решения, то есть решения, имеющие конечную энергию.

В данной работе мы исследуем регулярные решения в общей теории относительности, где гравитирующей материей являются два квантовых скалярных конденсата. В [1] показано, что при непertурбативном квантовании $SU(3)$ калибровочное поле приближенно можно описать в виде двух скалярных полей (квантовые конденсаты). В [2] получены сферически симметричные, плоские и горловинные решения для такого рода квантовых конденсатов. В [3] приведена классификация thick brane решений в 5-мерной теории Калуцы – Клейна.

В данной работе мы продолжаем исследования в данном направлении, но с использованием других видов потенциалов для квантовых конденсатов. Разница заключается в том, что исследуем потенциалы с нулевой потенциальной энергией на бесконечности. Такие потенциалы позволяют получить асимптотически плоские решения, в отличие от потенциалов с ненулевой потенциальной энергией, приводящих к де-Ситтеровской асимптотике.

-
1. V. Dzhunushaliev, Scalar model of the glueball // *Hadronic J. Suppl.* 19, 185 (2004); hep-ph/0312289.
 2. V. Dzhunushaliev and V. Folomeev, 4D static solutions with interacting phantom fields // *Int. J. Mod. Phys. D*, Vol.17, No. 11, 2125-2142 (2008); arXiv:0711.2840 [gr-qc].
 3. V. Dzhunushaliev, V. Folomeev and M. Minamitsuji, Thick brane solutions // *Rept. Prog. Phys.* 73, 066901 (2010), [arXiv:0904.1775 [gr-qc]].

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. В. Д. Джунушалиев

РОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ ПАР КАНАЛИРОВАННЫМИ ПОЗИТРОНАМИ

И. В. Фартушев

Томский государственный педагогический университет

При влете заряженной частицы в кристалл под малым углом к осям или плоскостям возникает явление каналирования. В этом случае взаимодействие с кристаллом можно описывать при помощи непрерывных плоскостных (осевых) потенциалов (см. например [1], [2]). С квантовой точки зрения частица захватывается в связанные с непрерывным потенциалом состояния и уровни поперечной энергии квантуются.

При переходе с одного уровня поперечной энергии на другой может испуститься реальный или виртуальный фотон. Виртуальный фотон может конвертировать в e^+e^- пару. Впервые на образование e^+e^- пар каналированной заряженной частицей было указано в работе [3].

В данной работе рассмотрен механизм образования e^+e^- пары каналированным позитроном. Этот процесс не описывается в рамках стандартной теории возмущений, так как каналирующий позитрон находится в сильном внешнем поле кристалла, и не может быть описан с помощью плоской волны.

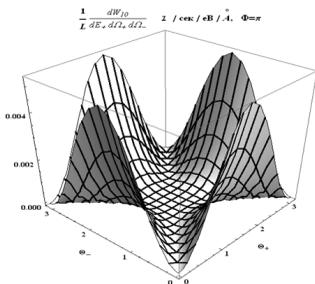


Рис.1

зависимость вероятности от углов вылета θ_{\pm} симметрично относительно линии $\theta_{+} = \theta_{-}$.

В работе в рамках квантовой электродинамики (в представлении Фарри) найдена вероятность данного процесса. Исследована зависимость вероятности как функции углов вылета образованных частиц.

На рис. 1 показана зависимость вероятности от углов вылета θ_{\pm} при фиксированном угле вылета $\Phi=\pi$. Начальная энергия позитрона 1 ГэВ и кинетическая энергия образованного электрона и позитрона 0.01 МэВ. Из рисунка видно, что

1. Линдхард Й. // УФН, 1969, т. 99, вып. 2, с. 249.
2. Gemmel D.S. // Rev. Mod. Phys., 1974, v.46, p.129.
3. J.C.Kimball and N.Cue, Physics Reports (Review Section of Physics Letters) 125, 2, 69--101, (1985).

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук Ю. П. Кунашенко

КВАНТОВАЯ ОПТИКА И КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 535.2

ЗАМЕДЛЕНИЕ ФАЗОВЫХ ИМПУЛЬСОВ БИХРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СРЕДЕ Λ -АТОМОВ

М. Ю. Басалаев

Новосибирский государственный университет
Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный технический университет

Проблема контролируемой задержки импульсов света является одной из ключевых для реализации телекоммуникационных устройств, работающих непосредственно с оптическим сигналом без промежуточного преобразования в электрический. Такие устройства обладали бы по отношению к электронным рядом преимуществ (быстродействие, помехоустойчивость, энергопотребление).

Существенный прогресс в управлении динамикой импульсов света связан с развитием нелинейных методов модификации отклика среды, используя несколько когерентных резонансных электромагнитных полей, взаимодействующих с многоуровневой атомной системой. Причина кардинального изменения оптических свойств атомной среды заключается в создании когерентности между атомными состояниями, что может приводить к эффекту электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП). Было продемонстрировано, что групповая скорость импульсов света, распространяющихся в условиях ЭИП, может быть много меньше скорости света в вакууме. Однако в подавляющем большинстве исследований рассматривается амплитудная модуляция света, т.е. импульсы интенсивности. Но фаза электромагнитной волны также является ее неотъемлемым параметром и, аналогично амплитуде, может быть промодулирована во времени в форме импульса.

Нами на примере Λ -модели атомной среды в условиях когерентного пленения населенностей показано, что эффекты замедления имеют место не только для амплитудных импульсов, но также и для фазовых. Установлено, что в нелинейном режиме происходит фазовая само- и кросс-модуляция, что приводит к разделению исходного фазового импульса на две фракции для каждой компоненты бихроматического поля. Причем одна фракция движется со скоростью света в вакууме (в отсутствии декогерентизации нижних состояний), а другая существенно замедляется.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (государственное задание №2014/139 проект №825) и Фонда Дмитрия Зимина «Династия».

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук В. И. Юдин

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛАЗМОННЫХ НАНОЛАЗЕРОВ

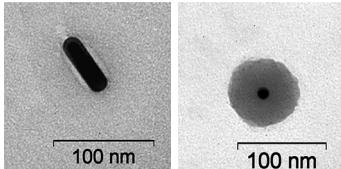
Ф. А. Бенимецкий

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск

За последнее десятилетие нанофотоника претерпевает стремительное развитие и открывает перспективы интересных приложений. Одним из главных направлений в области нанофотоники является разработка новых классов плазмонных структур и метаматериалов. Яркими представителями этой области нанофотоники можно назвать плазмонные нанолазеры или иными словами спазеры (акроним от Surface Plasmon Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Спазеры отличаются принципиально новыми оптическими свойствами, которые позволяют концентрировать энергию электромагнитного поля оптической частоты на размерах, много меньших длины волны видимого света, т.е. дают возможность преодолеть дифракционный предел. Принципиальные элементы спазера аналогичны элементам обыкновенного лазера. Однако, в спазере фотоны заменены поверхностными плазмонами, а в качестве резонатора выступают металлические наночастицы, которые поддерживают плазмонную моду. Подобно лазеру, источником энергии для спазера является активная среда, находящаяся в оболочке металлического наноядра, которая возбуждается от внешнего источника. При этом линия люминесценции активной среды совпадает с полосой поглощения плазмонного резонанса. Изменение формы частиц и материала, из которых они состоят, позволяет менять их оптические свойства (например, длину волны генерации). Варьирование этих параметров позволяет решать обширный круг задач.

Данная работа посвящена исследованию структуры золотых наночастиц Au с оболочкой из SiO₂ посредством различных типов микроскопии. Для получения изображений использовался микроскоп Nanonics MultiView 2000 в режиме атомно-силовой и ближнепольной оптической микроскопии, а также другие методы, такие как конфокальная и просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Спектры генерации спазеров соотнесены со структурой полученных гибридных наночастиц.



Изображения спазеров со сферическим и цилиндрическим ядром, полученные с помощью

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук А. И. Плеханов

ВОЛОКОННЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫЙ NALM ЛАЗЕР С ДВУМЯ ТИПАМИ РЕЖИМОВ ИМПУЛЬСНОЙ ГЕНЕРАЦИИ

А. Э. Голубцов

Новосибирский государственный университет

Волоконные импульсные лазеры предоставляют большую свободу в выборе и оптимизации частотно-временных характеристик импульсного излучения и востребованы в биомедицине, промышленности, телекоммуникациях, а также научных исследованиях физики нелинейных сред и быстротекущих процессов. Особый интерес для исследователей представляют системы, которые способны генерировать импульсы с различными параметрами при одной и той же частоте повторения.

В данной работе представлены результаты исследования импульсного волоконного лазера с резонатором в форме восьмёрки с возможностью переключения между двумя типами режимов генерации импульсов.

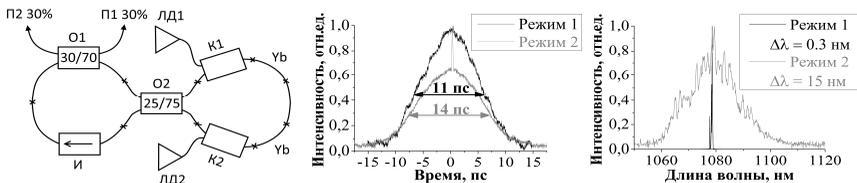


Рис. (а) Волоконный импульсный лазер с резонатором в форме восьмёрки: ЛД1,2 – диоды накачки, О1,2 – ответвители, К1,2 – комбайнеры, И – изолятор, Yb – активное волокно, П1,2 – выходные порты; (б) АКФ импульсов и (в) спектры для обоих режимов генерации.

Особенности конструкции лазера – нелинейное петлевое зеркало (NALM), две мощные многомодовые диодные накачки и две активные среды – позволили не только достичь требуемых пиковых мощностей для запуска режима синхронизации мод, но и производить переключение режимов генерации с одного типа (Режим 1: одномасштабные импульсы, длительностью меньше 10 пс) на другой (Режим 2: двухмасштабные фемтосекундные кластеры с огибающей 14 пс и длительностью составляющих импульсов менее 200 фс), изменяя отношение мощностей накачки. Использование в конструкции лазера исключительно волокон с поддержкой поляризации позволило избавиться от необходимости использования контроллеров поляризации, требующих периодической подстройки для получения режима синхронизации мод, осуществляя стабильное включение данного режима регулировкой уровней мощностей используемых накачек.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. В. Иваненко

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ

Я. И. Горбачёв

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

Основное направление данной работы, лежит в области создания мощных лазеров на парах металлов и их соединений. Мощные лазеры с длиной волны в видимом диапазоне востребованы в широком спектре задач: лазерная обработка материалов, фотохимическое разделение изотопов, задачи оптики атмосферы. Для оптической накачки лазеров на красителях, был собран лазер на парах бромида меди.

В целях оптимизации рабочих параметров CuBr лазера, была сформулирована задача по исследованию частотно энергетических характеристик.

Конструкция лазера: материал лазерной трубки, внутренних диафрагм, контейнеров для активного вещества – кварц, длина активной зоны 120 см, внутренний диаметр 27 мм. Внутри лазера располагается 9 контейнеров для активного вещества различной длины и разделенных кольцевыми диафрагмами, таким образом и реализована система гашения акустических колебаний. В каждый контейнер, закладывалось по 3-5 грамм бромида меди. Электроды имеют кольцевую форму и располагаются на оси лазера. Плоскопараллельный резонатор состоял из глухого зеркала и плоской пластинки. Источник питания построен на базе тиратрона ТГИ-1000. Возбуждающие импульсы имели следующие параметры: длительность импульса 100 нс, с частотой следования 10кГц, напряжение 25кВ, длительность переднего фронта 50нс, амплитуда тока 400А.

Получены зависимости мощности генерации от давления неона, водорода, частотных характеристики трубы и исследованы режимы работы трубки в системе генератор - усилитель. Все эксперименты проводились в квазиотпаянном режиме.

Научный руководитель: В. А. Ким

ИМПУЛЬСНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ HF ЛАЗЕР

С. В. Демчук

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Представлены результаты экспериментальных исследований энергетических, временных и пространственных характеристик генерации химического HF лазера в области 2,7 – 3,2 мкм с инициацией импульсным индукционным разрядом.

Индукционный лазерный излучатель включал в себя керамическую разрядную трубку с внешним диаметром 25 мм, на которую помещался индуктор, состоящий из нескольких отдельных секций по 10 – 30 витков, выполненных многожильным проводом сечением 10 мм². Общая длина индуктора, определяющая длину активной среды, была равна 58 см. Высоковольтная система накачки была разработана на основе хорошо известной схемы Блюмляйна. В ходе экспериментов осуществлялась продольная прокачка газов.

В качестве активных газовых лазерных сред использовались газовые смеси, в которых донорами фтора применялись F₂, NF₃, и SF₆. В качестве доноров водорода использовались молекулы H₂. В смеси H₂-F₂ генерацию получить не удалось. В смесях H₂-NF₃ и H₂-SF₆ при давлениях 10 – 20 торр была получена генерация в ИК области спектра вблизи 2,7 мкм. Соотношение компонент H₂ – NF₃(SF₆) изменялось в диапазоне 2:1 – 1:7. В экспериментах энергия генерации превышала 10 мДж. При этом длительность импульсов на полувывоте достигала 2 мкс, что соответствовало импульсной мощности 5 кВт. Добавление к смеси H₂ – NF₃(SF₆) буферных газов He или Ne или их обоих позволяло увеличить величину, а также стабильность энергии генерации от импульса к импульсу. Лазерный пучок в поперечном сечении имел форму кольца, диаметром, близким к внутреннему диаметру разрядной трубки; ширина кольца зависела от условий возбуждения и добротности резонатора.

Научные руководители: д-р физ.-мат. наук, проф. А. М. Ражев,
канд. физ.-мат. наук Д. С. Чуркин

АГРЕГАЦИЯ МОЛЕКУЛ НЕКОТОРЫХ РОДАМИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ И ЕЁ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ

А. А. Джамалова

Самаркандский государственный университет им. А. Навои, Узбекистан

Не смотря на то, что процессы молекулярной агрегации в растворах органических красителей изучаются давно [1], многие вопросы, из-за их сложности и многообразия остаются нерешенными. Анализ условий, при которых образуются агрегаты различного строения, представляет большой научный и практический интерес в связи с использованием растворов красителей в различных областях науки и техники.

Целью работы является изучение процессов агрегации молекул в растворах ряда новых синтезированных родаминовых красителей с применением абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии и квантово-химических методов расчета.



Изучены спектрально-люминесцентные характеристики новых синтезированных родаминовых красителей в воде, хлороформе и бинарной смеси: хлороформ+гексан. Результаты проведенных опытов показывают, что в интервале концентраций 10^{-5} - 10^{-6} М спектры поглощения и флуоресценции родаминовых красителей в воде и хлороформе остаются постоянными и относятся к мономерной форме. Для них были определены основные спектрально-люминесцентные характеристики: коэффициент экстинкции (ϵ), сила осциллятора (f_e), квантовый выход (B), время жизни возбужденного состояния (τ), частота чисто электронного перехода ($\nu_{0,0}$) и величина стоксового сдвига (SS). Показано, что при образовании агрегированных молекул красителей с участием молекул растворителя наблюдается коротковолновая полоса, а при образовании агрегированных молекул этих же красителей непосредственно между собой наблюдаются новые полосы поглощения расположенные с длинноволновой стороны по отношению к полосам поглощения их мономерных молекул. Установлена зависимость процессов димеризации и агрегации изученных соединений от электростатического поля молекулы.

1. Б.И. Шапиро. Молекулярные ансамбли полиметиновых красителей. Успехи химии. –2006. –Т.75. –№5. – С.484-510.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Э. Н. Курталиев

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИ-ПОЛИНГОВАННЫХ ВОЛОКОН С ПОМОЩЬЮ САМОСКАНИРУЮЩЕГО ЛАЗЕРА

Р. В. Дробышев

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Волоконные лазеры пользуются большой популярностью ввиду таких достоинств как качество выходящего пучка, надежность и компактность. Как правило, спектр генерации таких лазеров находится в ИК области. Но для многих приложений, таких как проточная цитометрия и офтальмология, требуется излучение видимого диапазона. Поэтому стоит задача разработки волоконных лазеров с генерацией в видимой области спектра. Как правило, для этого применяются объемные нелинейные кристаллы, что приводит к усложнению схемы. Альтернативой нелинейным кристаллам являются периодически-полингованные волокна [1].

Однако процесс производства данных волокон допускает неточности, поэтому реальный спектр может отличаться от ожидаемого. Как правило, такие волокна характеризуют перестраиваемыми лазерами, но такие лазеры отличаются большой стоимостью, а процесс их настройки – трудоёмкостью. Альтернативой перестраиваемым лазерам является лазер с самосканированием частоты [2]. Цель данной работы – разработка метода характеристики периодически-полингованного волокна при помощи самосканирующего лазера.

В ходе данной работы был собран волоконный иттербиевый лазер с самосканированием длины волны в диапазоне 1028-1031 нм. При прохождении сигнала через периодически-полингованное волокно генерировалась вторая гармоника с длиной волны излучения 515 нм. Был определен спектр образца периодически-полингованного волокна. Произведено сравнение результатов с данными, полученными с помощью перестраиваемого лазера.

1. Eric Y. Zhu, Li Qian and the others. Measurements of $\chi^{(2)}$ symmetry in a poled fiber // Optics Letters 35, 1530 (2010).

2. I. A. Lobach and the others. Self-scanned single-frequency operation of fiber laser driven by a self-induced phase grating // Laser Physics Letters 11, 045103 (2014).

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук И. А. Лобач

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ «ГОРЯЧИХ» ЛИНИЙ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ ВОДЯНОГО ПАРА

О. В. Егоров

Томский государственный университет

Для моделирования спектральных характеристик газов при высоких температурах требуется разработка методик расчета интенсивностей колебательно-вращательных линий, соответствующих квантовым переходам между высоковозбужденными уровнями энергии. Расчеты такого рода являются экстраполяционными, так как интенсивности «горячих» линий экспериментально не регистрируются при нормальных условиях. Применение традиционных методик ограничивается интенсивностями с малыми квантовыми числами, а выход за границы экспериментальных значений, используемых для определения параметров моделей, приводит к уменьшению точности расчета как энергий, так вероятностей переходов.

В настоящей работе проведены вычисления интенсивностей «горячих» линий вращательных переходов состояния (000) водяного пара с использованием собственных векторов, полученных в результате численной диагонализации эффективного вращательного гамильтониана, аппроксимированного методом Паде-Бореля [1]. Значение интенсивностей вычислялось с учетом классического восьми-параметрического выражения для центробежной поправки, а также по разработанной на его основе аппроксимации Паде [2]. Подгоночные параметры центробежных поправок определены на основе экспериментальных интенсивностей вращательных линий состояния (000), включающих в себя переходы с $J_{\max} = 19$ (при $Ka = 3$) и $Ka_{\max} = 14$ (при $J = 14$) [3]. Величина RMS составила примерно 4 % для обоих вариантов поправки. В итоге выполнены расчеты интенсивностей до переходов с $J = 30$ и $Ka = 25$ и проведен анализ полученных результатов посредством сравнения с известными *ab-initio* вычислениями.

Работа выполнена при поддержке РФФИ гранты № 15-01-03176 и № 13-07-98027, и фондом некоммерческих программ «Династия».

1. O.L. Polyansky // J. Mol. Spectrosc.–1985.–Vol.112.–P.79-87.
2. O.V. Egorov, O.K. Voitsekhovskaya // Proc. of SPIE. – 2014. – Vol. 9292. – 929206.
3. Электронный ресурс, URL: <http://mark4sun.jpl.nasa.gov/h2o.html>
Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. О. К. Войцеховская

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ДИНАМИКЕ ЛАЗЕРНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Р. Я. Ильенков

Новосибирский государственный университет
Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск

Лазерное охлаждение – область на стыке атомной и лазерной физики активно развивается уже более 30 лет. Сверхнизкие температуры и высокие концентрации охлажденных атомов, получаемые с помощью методик лазерного охлаждения, нашли множество как практических, так и фундаментальных применений. Однако, теоретическое описание взаимодействия света с атомами, которое учитывает поляризацию и интенсивность светового поля, эффекты отдачи, и локализацию атомов представляет собой сложную задачу. Эту задачу решают различными методами, накладывающими те или иные ограничения на параметры задачи. В частности, квазиклассический подход [1] корректно описывает лишь область малой отдачи. Ранее, нами был разработан квантовый метод, позволяющий получать стационарные распределения атомов в поле произвольной интенсивности с полным учетом эффектов отдачи. Однако, оценка времени охлаждения крайне важна для экспериментальных применений.

Таким образом, целью данной работы было создание метода позволяющего исследовать динамические характеристики установления стационарного распределения атомного ансамбля, без необходимости прямого решения динамической задачи, которое приводит к увеличению требуемых машинных ресурсов и накоплению ошибки.

В ходе данной работы был разработан и реализован метод позволяющий оценить время охлаждения атомов стоячей световой волной. Было произведено исследование зависимости этого времени от: частоты Раби, отстройки, энергии отдачи, и ширины начального распределения атомов.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (государственное задание №2014/139 проект №825) и фонда “Династия”.

1. *Казанцев А.П., Сурдутович Г.И., Яковлев В.П.*// Механическое действие света на атомы. Москва 1991.

Научные руководители: д-р физ.–мат. наук В. И. Юдин, д-р физ.–мат. наук А. В. Тайченачев

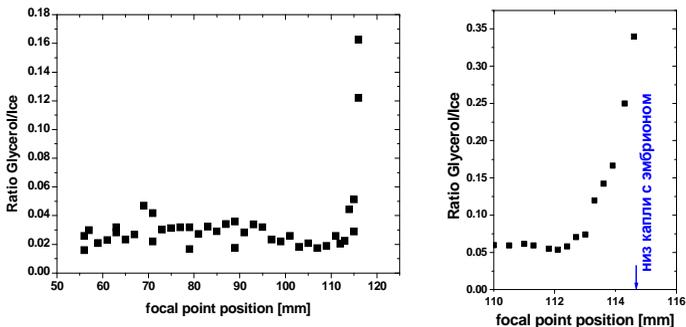
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГЛИЦЕРИНА В ЗАМОРОЖЕННОМ РАСТВОРЕ КРИОПРОТЕКТОРА МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАСSEЯНИЯ СВЕТА

Ю. А. Карпегина

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В настоящее время сохранение биоматериалов на длительное время является важной задачей. Основной подход к сохранению биоматериалов (клетки, эмбрионы, ткани) заключается в их замораживании в специальном криопротекторном растворе по определенному температурному протоколу. Для понимания микроскопических процессов при криоконсервации важно знать концентрацию криопротектора вблизи биоматериала. Настоящая работа посвящена исследованию распределения концентрации глицерина в растворе, замороженном по протоколу при криоконсервации эмбрионов. Это распределение определялось методом комбинационного рассеяния света (КРС).

В ходе работы были получены спектры КРС замороженных растворов криопротектора при различных положениях точки фокусировки вдоль «соломины». По измеренным спектрам определено отношение вкладов глицерина и льда (см. рисунок, правый рисунок показывает отношение вблизи низа капли, где располагается эмбрион).



В результате исследования было обнаружено, что в нижней точки, где располагается эмбрион, происходит увеличение концентрации глицерина в ~7 раз.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук Н. В. Суровцев

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО Yb:KYW ЛАЗЕРА С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

А. А. Кирпичникова

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Синтезаторы частот на основе фемтосекундных лазеров являются важнейшими блоками прецизионных лазерных систем для измерения абсолютных оптических частот и их стабильности. Перспективными средами для таких фемтосекундных лазеров являются калий-иттриевые вольфраматы, активированные иттербием, из-за широкой полосы люминесценции, полос поглощения, совпадающих с диапазоном генерации мощных полупроводниковых диодных лазеров, и высокой теплопроводности. В работе исследуются различные схемы малогабаритных резонаторов Yb:KYW лазера с мощной многомодовой диодной накачкой.

В типовых резонаторах кристалл охлаждается несимметрично, и возникает сильная астигматическая линза, чье влияние существенно уменьшает кпд и не позволяет получить устойчивый режим синхронизации мод. Была предложена схема с симметричным охлаждением активной среды. Влияние тепловой линзы может быть скомпенсировано изменением расстояния между сферическим зеркалом и кристаллом. В свободном режиме генерации регистрировалась мощность генерации в зависимости от мощности накачки. Дифференциальный кпд составил 35%.

Была предложена и реализована схема, позволяющая оптимизировать фокусировку излучения накачки. Дифференциальный кпд составил 40%, рекордный при использовании многомодового источника накачки.

Получен режим синхронизации мод. Межмодовая частота составила 340 МГц. Исследована область устойчивости резонатора, разработана схема для компенсации дисперсии групповой скорости

Заметим, что указанная схема не оптимизирована на максимальный кпд. У используемого в настоящей работе источника накачки круговая поляризация излучения. Для эффективной Р-поляризации излучения накачки порог генерации уменьшился, а дифференциальный кпд возрос до 46.4%.

Научные руководители: канд. физ.-мат. наук В. С. Пивцов,
С. А. Кузнецов

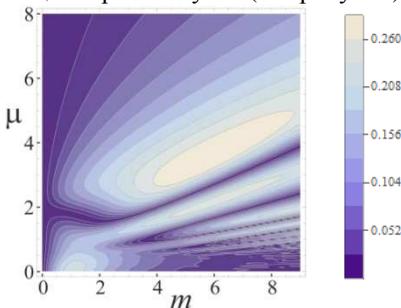
ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ СТАБИЛИЗАЦИИ ЛАЗЕРА ПО ЧАСТОТЕ ПЕРЕХОДА ДВУХУРОВНЕВОГО АТОМА

Д. В. Коваленко, М. Ю. Басалаев

Новосибирский государственный технический университет
Новосибирский государственный университет
Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск

Важной проблемой при разработке стандартов частоты и времени является повышение их стабильности. Стабилизация частоты генератора ν_L вблизи реперной частоты ν_0 может осуществляться путем модуляции разности частот $\delta = (\nu_L - \nu_0)$. В оптических стандартах частоты широко используется модуляция частоты лазера по гармоническому закону вблизи резонансной частоты атомного перехода. Эффективность стабилизации определяется крутизной наклона линейного участка антисимметричной дискриминантной кривой вблизи ν_0 .

При теоретическом анализе, как правило, рассматривается квазистационарный режим, т.е. в стационарное решение для коэффициента поглощения вводится зависимость отстройки $\delta(t)$ от времени. Такой подход является адекватным только при медленном сканировании частоты лазера вблизи резонансной частоты перехода и не описывает режимы стабилизации с высокой частотой модуляции отстройки (динамический режим). На основе развитого нами теоретического метода показано, что в динамическом режиме существует оптимум для параметров обратной связи (частоты гармонического сигнала μ и глубины модуляции m), при которых амплитуда сигнала ошибки сопоставима или даже больше, чем в квазистационарном случае (см. рисунок).



Контурный график зависимости крутизны наклона линейного участка дискриминантной кривой от частоты μ и глубины m модуляции в единицах γ , где γ – скорость спонтанной релаксации возбужденного состояния.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (государственное задание №2014/139 проект №825) и Фонда Дмитрия Зимина «Династия».

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук В. И. Юдин

АДАПТИВНЫЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР НА ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ЛАЗЕРЕ

Д. С. Косачев, С. С. Шмаков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Современное оборудование очень разнообразно и состоит из большого количества сопряжений. В условиях, когда резко возрастает скорость, мощность, производительность встает проблема повышения прочности и долговечности машин, а также снижение материалоемкости для повышения конкурентоспособности.

Применяемые на практике инженерные расчеты на прочность, основанные на определении номинальных и местных напряжений, уже являются недостаточными. Также расчетные методики могут требовать и экспериментальных проверок.

Для этих целей можно применять лазерные измерительные технологии, например, методы голографической адаптивной интерферометрии [1].

Целью данной работы было создание портативной системы для диагностики деформации, контактных напряжений и перемещений исследуемого объекта из изменения его фазы. Данная система может быть использована также и в технологических процессах производства опто- и микроэлектроники.

Особенностью представляемого интерферометра в сравнении, например с [2], является использование полупроводникового лазерного диода, значительно упрощающего и удешевляющего всю систему.

1. Адаптивная интерферометрия, использующая динамические отражательные голограммы в кубических фоторефрактивных кристаллах / А. А. Колегов [и др.] // Квантовая электроника. – 2011. – Т.41. – № 9. – С. 847-852.

2. Исследование амплитудных характеристик голографического интерферометра / С. С. Шмаков [и др.] // Южно-сибирский научный вестник. – 2012. – № 1. – С. 198-200.

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

РАЗРАБОТКА ИМПУЛЬСНОГО ВОЛОКОННОГО ВКР - КОНВЕРТЕРА С ЦЕНТРАЛЬНОЙ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1270 НМ

А. Ю. Кохановский

Новосибирский государственный университет

Для некоторых типов онкологических заболеваний эффективным методом лечения является фотодинамическая терапия (ФДТ). В курсе ФДТ в поражённую ткань вводится специальное вещество – фотосенсибилизатор, затем ткань подвергается воздействию лазерного излучения. Под действием лазерного излучения в результате фотохимической реакции внутри клеток ткани образуется синглетный кислород, провоцирующий их гибель. Недавние исследования [1] показали возможность проведения ФДТ без фотосенсибилизаторов, благодаря прямой генерации синглетного кислорода внутри клеток с помощью лазерного излучения с длиной волны в области 1270 нм.

Данная работа посвящена экспериментальной реализации импульсной лазерной системы, генерирующей излучение вблизи длины волны 1270 нм с использованием эффекта вынужденного комбинационного рассеяния в волоконных световодах (импульсный ВКР-конвертер).

Лазерная система включает в себя Yb-волоконный лазер с синхронизацией мод в качестве накачки и волоконный ВКР-конвертер на основе кварцевого волокна с добавкой оксида фосфора (P_2O_5) (стоксовский сдвиг 1330 см^{-1}).

Yb-лазер накачки генерирует пикосекундные импульсы с частотой следования 12,5 МГц, с центральной длиной волны 1084 нм и средней мощностью до 10 Вт. В качестве резонаторных зеркал ВКР-конвертера используются широкополосные волоконные брэгговские решетки.

В результате проведённых исследований разработан ВКР-конвертер, генерирующий излучение с длиной волны вблизи 1270 нм при средней выходной мощности до 3 Ватт и субнаносекундной длительностью импульсов.

1. F. Anquez and all. Cell death induced by direct laser activation of singlet oxygen at 1270 nm. // Laser physics, v. 23, 2013;

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук С. В. Кукарин

ГИБРИДНЫЙ ВОЛОКОННО-РЕШЕТОЧНЫЙ СТРЕТЧЕР ДЛЯ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Г. В. Купцов

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный технический университет

В ИЛФ СО РАН разработана мультитераваттная фемтосекундная лазерная система с килогерцевой частотой повторения. Система состоит из задающего лазера и двух оптически синхронизованных параллельных каналов: канала накачки параметрического усилителя и канала параметрического усиления[1].

Задающий лазер генерирует импульсы длительностью (по уровню полной ширины на полной высоте – ПШПВ) – 2.5 пс, шириной спектра – 1.5 нм ПШПВ. Для достижения мультитераваттного уровня на выходе системы, необходимо использовать СРА-принцип[2], с растяжением импульсов во времени до 1 нс или более. Спектральная ширина растягиваемых импульсов определяет большие габариты решеточного стретчера, позволяющего достичь требуемой длительности. Волоконный стретчер, в свою очередь, будет вносить большой чирп высших порядков и искажать спектр.

Предложен гибридный стретчер, состоящий из волоконного и решеточного стретчеров, расположенных последовательно. Волоконный стретчер осуществляет начальное уширение спектра за счет совместного действия фазовой самомодуляции и дисперсии групповых скоростей. Решеточный стретчер вносит дисперсию групповых скоростей, определяющую длительность импульса. Моделирование распространения импульсов через гибридный стретчер осуществлялось путем численного решения нелинейного уравнения Шредингера[3] в приближении третьего порядка дисперсии. Были определены оптимальные параметры гибридного стретчера для получения длительности импульса 1 нс на выходе. Показано преимущество гибридного стретчера перед решеточными и волоконными.

1. В. В. Петров, Е. В. Пестряков, А. В. Лаптев, В. А. Петров, Г. В. Купцов, В. И. Трунов, С. А. Фролов Мультитераваттная фемтосекундная лазерная система с килогерцевой частотой следования импульсов // Квантовая электроника. – 2014. – Т. 44, № 5. – С. 452-457.

2. D. Strickland and G. Mourou Compression of amplified chirped optical pulses (англ.) // Opt. Commun. – 1985. – V. 56. – P. 219

3. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика. – М.: "Мир", 1996.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук В. В. Петров

ВЛИЯНИЕ ПЛАВНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ПОЛЯ НА ДИФРАКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОННЫХ ФПМ-ЖК СТРУКТУР

А. В. Куркин, К. В. Волченко, А. О. Семкин
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

Голографические фотонные структуры (ГФС), сформированные в фотополимерно-жидкокристаллических материалах (ФПМ-ЖК) представляют большой интерес с точки зрения создания на их основе элементов фотоники, управляемых электрическим полем.

Целью данной работы является исследование влияния плавной пространственной неоднородности управляющего поля на дифракционные характеристики ГФС.

В работе [1] было показано влияние пространственной неоднородности управляющего поля на дифракционные характеристики ГФС. Кроме этого, в [2] был показан метод динамической амплитудно-фазовой апподизации ГФС под действием дискретно пространственно неоднородного внешнего электрического поля.

В ходе данной работы исследована двумерная дифракция Брэгга необыкновенных волн на ГФС. Путем решения системы уравнений связанных волн с учетом пространственной неоднородности управляющего поля получена зависимость передаточной функции от относительной расстройки аналогично [2]. Показана возможность динамической амплитудно-фазовой апподизации ГФС в условиях пространственно неоднородного управляющего поля.

Работа выполнена в рамках базовой части гос. задания Министерства образования и науки РФ ТУСУРа на 2015 г

1. А. О. Семкин, С. Н. Шарангович Взаимодействие световых пучков с голографическими фотонными ФПМ-ЖК-структурами при неоднородном управляющем электрическом поле // Известия вузов. Физика – 2013. – Т. 56, № 9/2 – С. 21-24.

2. А. О. Семкин, С. Н. Шарангович Дифракционные характеристики фотонных ФПМ-ЖК структур при сложной дискретной пространственной неоднородности управляющего поля // Доклады ТУСУРа – 2014. – № 1(31) – С. 136-140.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, проф. С. Н. Шарангович

ЭФФЕКТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО ИНДУЦИРОВАННЫХ ПРОЗРАЧНОСТИ И АБСОРБЦИИ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ

Д. Б. Лазебный

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В данной работе исследуется нелинейная лазерная спектроскопия в схеме двух коллинеарных волн в достаточно общей постановке задачи: дипольный характер взаимодействия, сверхтонкая структура атомных уровней, произвольная эллиптическая поляризация резонансного света, наличие статического магнитного поля. На основе квантовых кинетических уравнения на матрицу плотности в kq -представлении, для ограниченных световых пучков в резонансной газовой среде строится теория возмущений по полю до третьего порядка включительно с учетом сверхтонкой структуры атомных уровней, радиационной релаксации возбужденного состояния и пролетных эффектов в случае $\gamma\tau \gg 1$ (γ -радиационная ширина линии, τ -среднее время пролета атомов через световой пучок). Определен инвариантный вид нелинейной поляризации среды и получены компактные аналитические выражения для спектроскопического сигнала мощности одного из пучков на выходе из газовой ячейки. Детально анализируются поляризационные и резонансные особенности внутридуплеровской спектроскопии в случае однонаправленных волн. Особый акцент делается на исследование влияния, который оказывает процесс спонтанного переноса анизотропии на амплитуду и знак нелинейных резонансов Показано, что независимо от геометрической конфигурации векторов поляризации взаимодействующих полей для различных моментов основного и возбужденного состояний F_g , F_e нелинейные интерференционные эффекты приводят вблизи $\Delta=0$:

а) Для переходов $F_g=F \rightarrow F_e=F-1$ и $F_g=F \rightarrow F_e=F$ к появлению сверхузкого (с шириной $\sim 1/\tau$) провала в линии поглощения, т. е. имеет место так называемая светоиндуцированная прозрачность ЕИТ.

б) Для переходов $F_g=F \rightarrow F_e=F+1$ к появлению сверхузкого пика в поглощении, т. е. имеет место светоиндуцированное поглощение ЕИА [1].

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и наук РФ (государственное задание №2014/139 проект №825).

1. A. M. Akulshin, S. Barriero, and A. Lezama, Phys. Rev. A **57**, 2996 (1998).

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. Юдин

ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ОРГАНИЧЕСКИХ ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ НАКАЧКЕ

И. Л. Лапина, Т. А. Солодова
Томский государственный университет

На сегодняшний день особый интерес в квантовой электронике уделяется созданию тонкопленочных фотовозбуждаемых лазеров. Такой вид лазерного источника является перестраиваемым в широком диапазоне длин волн и имеет малые размеры, что позволяет использовать его в оптоволоконных системах связи, спектроскопии и медицине. Между тем существуют проблемы при создании тонкопленочных лазеров. Основная из них – это низкая фотостабильность органических материалов, из которых состоит тонкая пленка (краситель, полимер). При фотодеструкции материалов образующиеся продукты могут эффективно поглощать излучение генерации и/или накачки, приводя к снижению эффективности лазера и срыву генерации

Это направление активно развивается в мире и уже достигнуты большие успехи. Так, группой Шене (Франция), показано, что фотовозбуждаемые тонкопленочные лазеры с высокой эффективностью могут быть созданы [1].

Целью настоящей работы является создание тонкопленочного фотовозбуждаемого лазера, излучающего в красном диапазоне спектра.

Проведено исследование генерации Родамина 800 в этаноле, а также смеси красителей Пиррометена 597 и Родамина 800 в поперечном и продольном варианте накачки. Получены генерационные характеристики тонкопленочных структур на основе Родамина 800 при возбуждении импульсным лазером (длина волны возбуждения 532 нм, длительность импульса 10 нс, плотность мощности накачки 13 МВт/см²). Пленки ПММА, допированные красителем создавались методом полива из раствора тетрагидрофурана ($C_{\text{красителя}} = 5 \times 10^{-4}$ моль/л).

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ "Исследование фундаментальных основ создания электрических инжекционных лазеров".

1. Chenais S. Broadly tunable (440–670nm) solid-state organic laser with disposable capsules // Applied Physics Letters 102, 041112 (2013)

Научный руководитель: канд. хим. наук Р. М. Гадиров

ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР В ФПМ-ЖК С УЧЕТОМ ДВУХ МЕХАНИЗМОВ ЗАПИСИ

Д. И. Малышева, О. В. Незнанова, А. О. Семкин
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

В настоящее время большой интерес представляют голографические дифракционные структуры (ГДС) на основе фотополимерно-жидкокристаллических (ФПМ-ЖК) материалов.

Целью данной работы является разработка теоретической модели формирования ГДС в ФПМ-ЖК в условиях действия двух механизмов голографической записи: фотополимеризационно-диффузионного и поляризационного.

В общем случае голографической записи распределение светового поля внутри образца ФПМ-ЖК может быть записано в виде [1]:

$$E(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{2} \left[\sum_{m=0, e} \sum_{j=0, 1} \mathbf{e}_j^m \cdot E_j^m(\mathbf{r}) \cdot \exp[-\alpha(\mathbf{N}_j \cdot \mathbf{r}, t)] \right].$$

Световое поле будет формировать в образце ФПМ-ЖК сложную структуру, представляющую собой суперпозицию нескольких дифракционных решеток: фазовых полимерных и жидкокристаллических, образованных вследствие процессов фотополимеризации и взаимной диффузии компонент ФПМ-ЖК и поляризационной жидкокристаллической решетки, образованной вследствие ориентации молекул ЖК под действием электрического поля записывающих волн.

В работе разработана теоретическая модель формирования ГДС в ФПМ-ЖК материалах с учетом совокупности двух механизмов записи. На основе результатов численного моделирования показана необходимость учета вклада поляризационного механизма в формирование структуры.

Работа выполнена в рамках базовой части гос. задания Министерства образования и науки РФ ТУСУРу на 2015г.

1. A. O. Semkin, S. N. Sharangovich Holographic formation of the polarization gratings in PDLCs under light-induced absorption // Proceedings of the 14th Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics, August 24-27, 2014, Kokushikan University, Tokyo, Japan, p. 9-12.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, проф. С. Н. Шарангович

**ЛАЗЕРНАЯ ЗАПИСЬ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР НА
ГИБРИДНОМ ФОТОПОЛИМЕРНОМ МАТЕРИАЛЕ,
СИНТЕЗИРОВАННОМ НА ОСНОВЕ ТИОЛ-СИЛОКСАН-
АКРИЛАТНЫХ ОЛИГОМЕРОВ**

Н. Г. Миронников, Д. И. Деревянко

Институт автоматики и электротехники СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова
Новосибирский государственный университет

Лазерная запись на фотополимерных золь-гель гибридных органически-неорганических материалах в настоящее время активно исследуется в приложении к интегральной и дифракционной оптике. Для формирования механически, термически и химически прочных микроструктур на этих материалах не требуется операция реактивного ионного травления (РИТ). Это перспективно для синтеза дифракционных элементов на подложках с криволинейными поверхностями.

В данной работе исследована запись дифракционных структур на гибридных фотополимерных пленках на основе акрилатных и тиол-силоксановых олигомеров. Фотополимерная композиция была синтезирована в НИОХ СО РАН из тетраакрилата дигидроксидифенилсульфида и тиол-силоксанового олигомера, содержащего в основном 4,4,8,8-тетраметокси-6,6-дифенил-5,7-диокса-4,6,8-трисилаундекан-1,11-дитиол. Фотополимеризованный материал имеет структурные блоки, несущие различные функции: силоксановые группы придают гибкость и термоустойчивость, тиольные группы служат спейсером и защищают от кислородного ингибирования при фотополимеризации, акрилатные группы придают способность полимеризации. В зависимости от соотношения исходных компонентов можно изменять свойства материала под определенную задачу.

Эксперименты по записи структур велись на установке лазерной записи с двухкоординатным столом. В качестве записывающего лазера использовался волоконный импульсный лазер с длиной волны 355 нм, длительностью импульсов 100 нс и средней мощностью пучка 1 мВт. Скорость сканирования сфокусированного до диаметра 3-5 мкм пучка составляла 1 мм/с.

В ходе работ получены характеристические кривые фотополимера, а также исследован профиль и шероховатость поверхности, твердость и модуль упругости полученных периодических структур.

Научный руководитель: д-р техн. наук В. П. Корольков

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЧКОВ С ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

М. С. Митьков

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирский государственный университет

В последние годы формирование и применение закрученных пучков вызывает значительный интерес. Пучки закрученных фотонов или пучки с орбитальным угловым моментом (ОУМ) представляют собой электромагнитную волну со спиралеобразным волновым фронтом. Такие пучки уже были сформированы во многих спектральных диапазонах. В терагерцовом диапазоне, находящимся между оптическим и радиочастотным диапазонами, в мире существует всего три работы по формированию таких пучков. В данной работе терагерцовые пучки с ОУМ были получены с помощью кремниевых бинарных дифракционных оптических элементов (ДОЭ) представляющих собой зонные пластины Френеля со спиральной конфигурацией зон. Терагерцовое излучение Новосибирского лазера на свободных электронах (ЛСЭ) с длиной волны 141 мкм и гауссовым распределением интенсивности дифрагировало на ДОЭ, формируя бездифракционный пучок с бесселевым распределением интенсивности, который распространялся, не изменяя своего распределения, на расстояния до 150-180 мм.

Для регистрации топологического заряда закрученных фотонов использовались три метода: интерференция закрученного и гауссова пучка в интерферометре Маха-Цендера, дифракция пучка на двух щелях, представляющих собой интерферометр Юнга, и дифракция на краю. Путем компьютерного моделирования в системе Matlab используя интеграл Френеля-Кирхгофа, были выполнены численные расчеты распределения амплитуды и фазы закрученных пучков на различных расстояниях от ДОЭ; сделана компьютерная модель экспериментов по регистрации топологического заряда. Численные расчеты показали хорошее согласование с экспериментальными данными. Впервые в работе были получены и исследованы бездифракционные закрученные пучки терагерцовых фотонов с топологическим зарядом $l=\pm 1, \pm 2$. Было показано, что интенсивность этих пучков хорошо аппроксимируется функциями Бесселя.

Научные руководители: д-р физ.-мат. наук, проф. Б. А. Князев, Ю. Ю. Чопорова

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ АТОМОВ ^{174}Yb В ТРИПЛЕТНОМ СОСТОЯНИИ 3P_1 ЗА СЧЕТ СТОЛКНОВЕНИЙ С АТОМАМИ В ОСНОВНОМ СОСТОЯНИИ 1S_0 МЕТОДОМ ФОТОННОГО ЭХО.

И. У. Надинов

Институт физики полупроводников имени А. В. Ржанова СО РАН,
г. Новосибирск

Новосибирский государственный университет

Фотонное эхо исследовано, как функция времени задержки между линейно поляризованными возбуждающими импульсами. Эксперименты проводились в вакуумной нагревной кювете при температуре 840 К (давление насыщенных паров Yb составляло ~20 мТорр). Результаты сопоставляются с теорией [1].

1. Евсеев И. В., Рубцова Н. Н., Самарцев В. В., Фотонное эхо и фазовая память в газах, изд. КазГУ, 2009.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Е. Б. Хворостов

ДВОЙНАЯ СТРУКТУРА РЕЗОНАНСА НАСЫЩЕННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ: ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГАРМОНИК

А. С. Новокрещенов
Новосибирский государственный университет,
Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск

Одним из важнейших фундаментальных явлений в области нелинейной лазерной спектроскопии газов является резонанс насыщенного поглощения (НП) в поле встречных световых волн [1]. Как правило, резонанс НП наблюдается в виде одной структуры (провала или пика, в зависимости от поляризации волн и структуры атомных энергетических уровней). Однако, относительно недавно [2] был обнаружен новый эффект, заключающийся в наблюдении двойной структуры резонанса НП: на фоне обычного провала образовывался контрастный более узкий пик. В работе [2] было отмечено, что данный эффект не мог быть вызван ранее известными причинами (электромагнитно-индуцированной абсорбцией, эффектом отдачи и др.). Хорошо известно, что высшие пространственные гармоники (ВПГ) атомной поляризации могут оказывать влияние на форму резонанса НП [1]. Вместе с тем, известно [2], что проявление самого эффекта двойной структуры не связано напрямую с влиянием ВПГ.

В настоящей работе исследуется влияние ВПГ на обнаруженный эффект двойной структуры резонанса НП. Полученные результаты демонстрируют заметное влияние высших гармоник на амплитуду и ширину центрального пика. Кроме того, в некоторых режимах ВПГ играют ключевую роль и приводят к подавлению эффекта. Полученные результаты существенно дополняют знания о новом нелинейном эффекте, обнаруженном в работе [2] и могут быть использованы, например, в метрологии. Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (гос. задание №2014/139 проект №825), а также частично поддержана грантами РФФИ (15-02-08377, 15-32-20330, 14-02-00712, 14-02-00939) и Президента РФ (МК-4680.2014.2).

1. Летохов В.С., Чеботаев В.П. Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения. М.: «Наука», 1990.

2. Васильев В.В., Величанский В.Л., Зибров С.А. и др. Двойная структура резонанса насыщенного поглощения на открытом атомном переходе // ЖЭТФ. 2011. Т. 139. №5. С. 883–893.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Д. В. Бражников

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДОО С ПИЛООБРАЗНЫМ ПРОФИЛЕМ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ РАСТРИРОВАННОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ.

А. В. Паньков

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Мощные CO₂ лазеры работающие в ИК диапазоне широко применяются в промышленности для резки металлов. Для фокусировки такого излучения было предложено использовать дифракционную оптику. Был разработан ДОО с пилообразным профилем, который в теории имеет 100% эффективность. В связи с большими размерами данного элемента было решено использовать метод растрированной фотолитографии с зазором для его изготовления. Такой ДОО обладает рядом характерных дефектов рельефа, на которых возникает паразитное рассеяние света, которое из-за высокой мощности лазера может привести к повреждению оборудования и обрабатываемой детали. Основными типами дефектов являются обратный скат пилообразного профиля и наличие синусоидальных модуляций на несущем периоде растра.

Проведено компьютерное моделирование распределения интенсивности света после прохождения растра заданной конфигурации и эффективности дифракционных порядков света отраженного от периодической дифракционной решетки заданной конфигурации.

Вычислен оптимальный зазор между растром и фоторезистом для обеспечения минимальной потери дифракционной эффективности от синусоидальных модуляций на несущем периоде растра.

Научный руководитель: канд. техн. наук Р. К. Насыров, канд. техн. наук В. П. Корольков

ШЕСТИПРОХОДНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С ДВУСТОРОННЕЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ ДЛЯ ТЕРАВАТТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ

В. А. Петров

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный технический университет

В настоящее время, в ИЛФ СО РАН создается система, генерирующая импульсы тераваттной мощности с высокой частотой повторения. Развиваемый метод создания фемтосекундной лазерной системы с диодной накачкой на керамике $\text{Yb:Y}_2\text{O}_3$ основан на гибридном [1] методе усиления в двух параллельных каналах импульсов, генерируемых задающим лазером.

Для увеличения мощности излучения задающего лазера в канале накачки параметрического усилителя в качестве второго каскада усиления был разработан шестипроходный усилитель, с двусторонней диодной накачкой активного элемента Yb:YAG , повышающий уровень энергии входных импульсов с 0,5 мДж до 10-15 мДж. В приближении гипергауссовского пространственного распределения [2] излучения накачки рассчитано температурное распределение внутри активного элемента.

Проанализированы влияние температуры активного элемента на коэффициент усиления и влияние коэффициента поглощения на градиент температуры. Показано, что при использовании двусторонней накачки формируется более равномерная инверсия в кристалле и градиент температуры по толщине кристалла существенно меньше, по сравнению с односторонней накачкой.

1. В.В. Петров, Е.В. Пестряков, В.И. Трунов, А.В.Кирпичников, М.А. Мерзляков, А.В. Лаптев, Т.25, №3, С. 285-291, 2012

2. Chenais S., Balembois F., Druon F // IEEE Journal of Quantum Electronics. 2004. vol. 40. № 9. p. 1217.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук В. В. Петров

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

А. Н. Пронюшкина, А. А. Бобылев

Новосибирский государственный технический университет

В настоящее время одним из актуальных направлений научных исследований является анализ газового состава атмосферы. Регистрация летучих соединений в выдыхаемом человеком воздухе представляет большой интерес для разработки и создания новых методов неинвазивной диагностики. На данный момент в России наблюдается резкий всплеск онкологических и других опасных заболеваний, в том числе в молодом возрасте. Заболевания прогрессируют стремительно, и от начальной до последней стадии проходит всего несколько месяцев. Выдох человека является сложной газовой смесью, включающей около 2000 компонент. Некоторые компоненты, обладающие наибольшей специфичностью образования в организме, такие как двухатомные молекулы, окислы углерода и азота, многоатомные алифатические и ароматические углеводороды, можно использовать в качестве естественных газообразных биомаркеров. Регистрация таких биомаркеров даёт ценную информацию при диагностике заболеваний.

На сегодняшний день, динамическая оценка эффективности лечения заболеваний возможна на основании данных рентгенографических методов исследований (частота исследований ограничена из-за неблагоприятного влияния на организм пациента) и инвазивных клинико-лабораторных исследований крови пациента, требующих обеспечения мер безопасности при работе с биологическими материалами, приобретения реактивов и расходных материалов и значительных трудозатрат медицинского персонала.

Целью данной работы было создание лазерного газоанализатора для обеспечения экспресс-сканирования многокомпонентного состава выдыхаемого человеком воздуха для динамической оценки эффективности лечения различных заболеваний методом оптико-акустической спектроскопии. В ходе данной работы создан лазерный газоанализатор, способный точно и быстро регистрировать в выдыхаемом воздухе одновременно 10 и более биомаркеров. Время регистрации составляет не более 5 минут. Разработанный газоанализатор позволит, неинвазивно, без стресса для пациента, произвести предварительную диагностику и выявить пациентов, нуждающихся в дальнейшем обследовании.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук Д. Б. Колкер

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА АНДЕРСОНОВСКОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ В СИНТЕТИЧЕСКИХ ФОТОННЫХ РЕШЕТКАХ

А. М. Тикан

Новосибирский государственный университет

Недавно была продемонстрирована волоконная реализация фотонной решетки, в которой эволюция излучения происходит не в пространстве, а во времени. [1,2]. В такой системе может быть создан произвольный оптический потенциал, что делает возможным наблюдение различных квантовых эффектов, известных, например, в физике твердого тела [1-3]. В данной работе экспериментально продемонстрирована андерсоновская локализация в синтетической фотонной решетке со случайным потенциалом.

Временная реализация синтетической фотонной решетки представлена в виде двух волоконных колец, немного отличающихся длиной. Кольца соединены через 50% ответвитель. Оптические потери точно компенсированы усиливающими элементами. По системе циркулирует последовательность световых импульсов, количество и амплитуда которых может изменяться. Число обходов кольца соответствует соответствующей временной координате, тогда как аналогом пространственной координаты служит задержка импульса относительно центрального в последовательности.

Осуществляя фазовый сдвиг для каждого из импульсов случайным образом, можно получить аналог случайного потенциала в квантовых системах. В отсутствии фазового сдвига цепочка импульсов увеличивается во времени от обхода к обходу, тогда как при случайном фазовом сдвиге количество импульсов в цепочке выходит на стационарный уровень. Экспериментально показано, что увеличение дисперсии набега фаз приводит к более сильной временной локализации, т.е. к уменьшению стационарного количества импульсов в последовательности. Огибающая интенсивностей импульсов в цепочке спадает экспоненциально со временем, что также характерно для андерсоновской локализации.

-
1. Regensburger, C. Bersch, B. Hinrichs, G. Onishchukov, A. Schreiber, C. Silberhorn, U. Peschel, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 233902 (2011).
 2. A. Regensburger *et al.*, *Nature* **488**, 167 (2012).
 3. A. Regensburger *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **110**, 223902 (2013).

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Д. В. Чуркин

ЗАВИСИМОСТЬ КОРОТКОВОЛНОВОГО СМЕЩЕНИЯ СПЕКТРА БЕЗРЕЗОНАТОРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В НАНОДИСПЕРСНОЙ СРЕДЕ ОТ МАТЕРИАЛА

А. В. Трифонова, В. А. Харенков
Томский государственный университет

Несмотря на то, что вопросам безрезонаторной лазерной генерации в нанодисперсных активных средах (random lasing или случайная генерация в пленках или растворах лазерно-активных веществ, допированных наночастицами) посвящено огромное количество экспериментальных работ, некоторые особенности ее проявления не получили должного объяснения или требуют дальнейших исследований. К таким особенностям относится зачастую наблюдающийся в эксперименте коротковолновый сдвиг спектра безрезонаторной генерации относительно максимума спектра наблюдающейся спонтанной флуоресценции. Надо сказать, что такое спектральное поведение не характерно для типичной генерации в лазерах на красителях, где спектр генерации сдвинут в красную область из-за эффекта реабсорбции. Целью данной работы было сравнение величин коротковолновых сдвигов спектров безрезонансной лазерной генерации в растворах родамина 6G с агломерированными наночастицами металлического Al и диэлектриков Al_2O_3 , TiO_2 . Все используемые нами наночастицы имеют одинаковые морфологию и распределения по размерам. В эксперименте растворы R6G с агломерированными наночастицами помещались в кювету толщиной 2 мм и возбуждались лазерными импульсами ($\Delta t = 6$ нс, $\lambda = 0,53$ мкм). Из полученных спектров свечения растворов R6G, допированных наночастицами различных материалов, следует, что спектр генерации R6G с наночастицами Al смещен в коротковолновую область на 10 нм относительно спектра спонтанной флуоресценции раствора R6G без наночастиц и на 2 нм относительно спектра генерации растворов с наночастицами Al_2O_3 , TiO_2 . Благодаря наличию сильных оптических полей вблизи агломерированных наночастиц в переднем тонком слое среды, в котором ничтожно влияние реабсорбции на спектр флуоресценции, возникает достаточное количество фотонов, которые являются затравочными для формирования вынужденного излучения во всей возбужденной среде.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. А. Землянов

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕЗРЕЗОНАТОРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ТОНКИХ СЛОЯХ АКТИВНОЙ СРЕДЫ С АГЛОМЕРАТАМИ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

А. В. Трифонова, В. А. Харенков
Томский государственный университет

В плане создания высокоэффективных активных сред для лазерных микроизлучателей весьма перспективным является направление, связанное с исследованием нанодисперсных активных сред, представляющих собой композиты из лазерно-активных молекул и наночастиц различных материалов. В таких композитах реализуется так называемая безрезонаторная лазерная генерация. Такая генерация развивается в рассеивающих усиливающих средах либо за счет увеличения времени взаимодействия фотонов вторичного излучения с активными молекулами из-за многократного рассеяния на наночастицах, либо в средах с наночастицами с ярко выраженными плазмонно-резонансными свойствами. В работе исследуются возможности еще одного механизма реализации низкопороговой генерации в нанодисперсных средах, основанного на существовании вблизи поверхностей агломерированных наночастиц локальных оптических полей повышенной плотности мощности, не связанных с плазмонно-резонансными условиями.

Целью данной работы было сравнение энергетических характеристик лазерной генерации в растворах родамина 6G (R6G) с агломератами наночастиц металлов Al, Ag и диэлектриков Al_2O_3 , TiO_2 . Эти агломераты имеют одинаковые морфологию и распределения по размерам и представляют собой скопления близкорасположенных сферических наночастиц. В эксперименте растворы R6G с наночастицами помещались в кювету толщиной 2 мм и возбуждались лазерными импульсами ($\Delta t \approx 6$ нс, $\lambda \approx 0,53$ мкм). Спектры свечения регистрировались спектрометром Avaspec-ULS2048L-USB2. Полученные зависимости интенсивностей излучения генерации от энергии накачки показали, что, при фиксированной энергии накачки в надпороговом режиме, величины интенсивностей генерации для растворов с агломератами наночастиц металлов Al, Ag примерно одинаковы, но превышают интенсивности генерации в растворах с агломератами наночастиц диэлектриков в 3 раза для Al_2O_3 и в 9 раз для TiO_2 .

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. А. Землянов

ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИИ ЧАСОВОГО ПЕРЕХОДА $1S_0 - 3P_1$ ХОЛОДНЫХ АТОМОВ МАГНИЯ

М. А. Тропников

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Точность стандарта частоты на основе фонтана атомов цезия, принятого в качестве первичного, скорее всего, достигла своего предела, и дальнейшее увеличение точности стандартов связывают с созданием стандартов частоты в оптическом диапазоне. В этом направлении повышенный интерес проявляется к созданию стандартов частоты на основе охлажденных и локализованных нейтральных атомов, в частности атомов магния. Наличие «часового» перехода $1S_0-3P_1$ с естественной шириной 30 Гц и быстрого замкнутого перехода $1S_0-1P_1$ позволяют осуществить эффективное охлаждение и захват атомов магния в магнитооптическую ловушку, что позволит реализовать стандарт частоты с относительной погрешностью $10^{-15} - 10^{-16}$ [1]. Источник излучения на длине волны 457 нм для такого стандарта частоты должен иметь область плавной перестройки, включающую частоту магниевого перехода, мощность излучения порядка 100 мВт, а также обладать высокой стабильностью частоты и иметь ширину линии излучения порядка 1 Гц.

В данной работе представлены результаты по стабилизации частоты источника излучения, в качестве которого выступает Nd:YVO₄ лазер с удвоением частоты. Стабилизация частоты источника осуществляется по полосе пропускания опорного эталона Фабри-Перо. Эталон с базой из оптического ситалла был изолирован от внешних тепловых воздействий тепловым экраном, от акустических – вакуумной камерой, а вибрационные воздействия подавляются виброизоляционной платформой. Также для исключения влияния термического расширения ситалла и суточных колебаний температуры была разработана система термостабилизации эталона на уровне 1 мК на базе ПИД-регулятора, реализованного с помощью NI LabVIEW. Полученные результаты позволяют уменьшить ширину линии излучения и повысить стабильность частоты источника.

1. А. Н. Гончаров, А. Э. Бонерт, Д. В. Бражников, А. М. Шилов, С. Н. Багаев, "Прецизионная спектроскопия атомов магния в магнитооптической ловушке", Квант. электроника, 2014, 44 (6), 521–526.

Научные руководители: канд. физ.-мат. наук А. Н. Гончаров, А. М. Шилов

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОПТОВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА ЗА СЧЕТ УЧЕТА ВКЛАДА ДЫРОК В ФОТОТОК РЕГИСТРИРУЮЩИХ ФОТОДИОДОВ

И. Б. Цыденжапов

Новосибирский государственный университет

Распределенный датчик температуры на основе комбинационного рассеяния света (в англоязычной литературе RDTs – Raman Distributed Temperature Sensor) позволяет измерять температуру по всей длине оптического волокна и является востребованным приложением в нефтегазовой, энергетических сферах, а также в сфере безопасности.

В распределенном датчике температура вычисляется из отношения интенсивностей стоксовой и антистоксовой компонент комбинационного рассеяния света в оптоволокне от мощного лазерного импульса. Регистрируя рефлектограмму (зависимость интенсивности рассеянного света от времени), можно каждому моменту времени поставить в соответствие координату вдоль волокна в которой произошло рассеяние. Однако при регистрации оптического сигнала неизбежно происходят аппаратные искажения сигнала, которые приводят к ошибке определения температурного профиля вдоль измерительной линии.

В реальных условиях, получаемые сигналы на выходе от фотоприемников отличаются от идеального сигнала. При исследовании переходных характеристик фотоприемников было замечено, что форма электрических сигналов отличаются от оптических. Было предложено, что такие искажения являются следствием разной подвижности носителей заряда фототока в инжекционном слое pin-фотоприемника.

В данной работе была предпринята попытка учесть вклад в передаточную характеристику «медленных» дырок и решить задачу восстановления сигнала. В работе представлены результаты численного моделирования работы алгоритма решения задачи восстановления искаженного сигнала и результаты обработки экспериментальных данных.

Работа выполнена в рамках НИОКР в лаборатории компании ООО «Инверсия-сенсор»

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. Г. Кузнецов

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА	5
V. I. Kichibekov	5
Б. К. Абдыкадыров	6
А. В. Алмаев	7
М. В. Бурдастых	8
О. Т. Важинский, К. С. Тарасенко, М. В. Чуманов	9
В. В. Вальковский	10
С. А. Востриков	11
М. С. Галков	12
М. П. Гамбарян	13
А.Г. Гулямов	14
А. Д. Давыдов	15
А. А. Добрецова	16
М. Ю. Есин	17
Д. И. Засухин	18
Д. И. Засухин	19
И. В. Зайцева	20
М. В. Зуев	21
И. А. Зятиков	22
Е. С. Ивашко	23
М. А. Ионцев	24
А. Б. Каршиев	25
Е. А. Киселева	26
Е. В. Ковалев	27
В. В. Копьев, И. С. Романов	28
В. М. Кошелев	29
В. А. Крадько Е. А. Березина	30
А. А. Краковская	31
В. М. Литвяк	32
К. А. Лозовой, А. А. Пицагин	33
В. А. Майборода, Б. Ю. Забелич	34
Н. Т. Муталов, К. А. Амонов	35
Н. Т. Муталов	36
А. А. Недомолкина	37
Д. В. Некрасов	38
Э. Р. Нигматуллина, А. Р. Жармухаметов	39
А. Г. Нугуманов	40
В. Л. Олейник	41

А. А. Панарин, В. А. Ивашенко	42
А. А. Пицагин, В. Ю. Серохвостов	43
С. А. Подорожняк	44
У. Х. Рахмонов	45
А. С. Романов	46
Д. В. Рошко	47
Д. А. Руднев	48
К. М. Румынин	49
Н. Е. Рыбин	50
М. Л. Савченко	51
А. А. Семенова	53
А. А. Смагулова	54
В. Г. Стельмах	55
В. Г. Стельмах	56
Д. С. Табакаев	57
А. А. Томашевич, А. В. Ермолаев, Д. В. Петенев	58
М. А. Черосов	59
А. Ю. Широков, М. С. Аксенов	60
К. С. Элоян, К. С. Морозов	61
У. И. Эркабоев	62
С. Эшмаматов	63
С. Эшмаматов	64
ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ	65
А. Н. Амирханов	65
С. С. Грибанов	66
В. Н. Жабин	67
К. В. Затримайлов	68
В. Л. Иванов	69
О. А. Коваленко	70
Е. А. Козырев	71
А. А. Коробов	72
П. А. Крачков	73
Т. В. Мальцев	74
П. С. Подберёзко	75
Е. В. Рогозина	76
А. А. Уразалина, А. А. Махмудов	77
И. В. Фартушев	78
КВАНТОВАЯ ОПТИКА И КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА.....	79
М. Ю. Басалаев	79
Ф. А. Бенимецкий	80

А. Э. Голубцов	81
Я. И. Горбачёв.....	82
С. В. Демчук.....	83
А. А. Джамалова	84
Р. В. Дробышев.....	85
О. В. Егоров	86
Р. Я. Ильенков.....	87
Ю. А. Карпегина	88
А. А. Кирпичникова	89
Д. В. Коваленко, М. Ю. Басалаев.....	90
Д. С. Косачев, С. С. Шмаков	91
А. Ю. Кохановский.....	92
Г. В. Купцов	93
А. В. Куркин, К. В. Волченко, А. О. Семкин.....	94
Д. Б. Лазебный.....	95
И. Л. Лапина, Т. А. Солодова	96
Д. И. Малышева, О. В. Незнанова, А. О. Семкин.....	97
Н. Г. Миронников, Д. И. Дервянко	98
М. С. Митьков.....	99
И. У. Надинов	100
А. С. Новокрещенов	101
А. В. Паньков	102
В. А. Петров	103
А. Н. Пронюшкина, А. А. Бобылев.....	104
А. М. Тикан	105
А. В. Трифонова, В. А. Харенков.....	106
А. В. Трифонова, В. А. Харенков.....	107
М. А. Тропников	108
И. Б. Цыденжапов.....	109

МАТЕРИАЛЫ
53-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

МНСК–2015

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Материалы конференции публикуются в авторской редакции

Подписано в печать 27.03.2015

Офсетная печать

Заказ № _____

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 5,3. Усл. печ. л. 7,1.

Тираж 100 экз.

Редакционно-издательский центр НГУ
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2