

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

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

**МНСК–2017**

**17–20 апреля 2017 г.**

**ФОТОНИКА И КВАНТОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Новосибирск  
2017**

УДК 535  
ББК В 22.34

Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2017: Фотоника и квантовые оптические технологии / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2017. 42 с.

ISBN 978-5-4437-0493-7

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

**Научные руководители секции** – академик РАН Багаев С.Н. и академик РАН Шалагин А. М.

Председатель секции – д-р физ.-мат. наук, доцент Кобцев С. М.

Ответственный секретарь секции –  
канд. физ.-мат. наук Смирнов С. В.

**Экспертный совет секции**

д-р физ.-мат. наук, профессор Бакланов Е. В.  
канд. физ.-мат. наук, доцент Ньюшков Б. Н.  
чл.-корр. РАН Рябцев И.И.  
д-р физ.-мат. наук, профессор Чаповский П. Л.  
д-р физ.-мат. наук Чуркин Д. В.

ISBN 978-5-4437-0493-7

© Новосибирский государственный  
университет, 2017

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

**PROCEEDINGS  
OF THE 55th INTERNATIONAL STUDENTS  
SCIENTIFIC CONFERENCE**

**ISSC-2017**

**April, 17–20, 2017**

**PHOTONICS AND QUANTUM OPTICAL TECHNOLOGIES**

**Novosibirsk, Russian Federation  
2017**

Proceedings of the 55<sup>th</sup> International Students Scientific Conference.  
Photonics and Quantum Optical Technologies / Novosibirsk State University.  
Novosibirsk, Russian Federation. 2017. 42 pp.

ISBN 978-5-4437-0493-7

The conference is held with the significant support of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Government of Novosibirsk Region, Russian hi-tech companies, NSU Alumni Union.

**Section scientific supervisors** – academician of the RAS Bagaev S. N. and  
academician of the RAS Shalagin A. M.

**Section head** – Doctor of Phys.&Math. Sciences, Assoc. Prof. Kobtsev S. M.

**Responsible secretary** – Cand. Phys.&Math. Sciences, Assoc. Prof. Smirnov S.  
V.

**Section scientific committee**

doctor of phys.&math. sciences, prof. Baklanov E. V.  
cand. phys.&math. sciences, assoc. prof. Nyushkov B. N.  
corresponding member of RAS Ryabtsev I. I.  
doctor of phys.&math. sciences, prof. Chapovsky P. L.  
doctor of phys.&math. sciences Churkin D. V.

**Разработка фемтосекундного волоконного эрбиевого лазера с использованием сдвоенного волоконного коллиматора**

Антропов А. А.

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

В ИЛФ СО РАН разработан фемтосекундный Er волоконный лазер, с оригинальной кольцевой конфигурацией резонатора. Впервые для его реализации использован сдвоенный волоконный коллиматор (OPNETI). Коллиматор представляет собой стеклянную колбу, в которой зафиксированы концы двух волокон, соединенную с общей линзой. Излучение из первого волокна, пройдя коллиматор, после отражения от зеркала, возвращается обратно через ту же самую линзу во второе оптоволокно. Изменение расстояния между коллиматором и зеркалом приводит к изменению длины резонатора, таким образом, появляется возможность контроля частоты повторения импульсов. Синхронизация мод в лазере осуществляется с помощью полупроводникового насыщающегося поглотителя (Wator).

В работе получены следующие характеристики волоконного лазера: ширина спектра излучения в режиме синхронизации мод 7 нм (на полувысоте); спектрально-ограниченная длительность импульса 363 фс; средняя мощность излучения на выходе лазера ~ 8,1 мВт, при средней мощности накачки в 340 мВт (на длине волны 1480 нм); частота повторения импульсов 14 МГц. В лазере используется медное зеркало с коэффициентом отражения ~ 96,5 %, зазор между коллиматором и зеркалом 1,5 мм, при этом потери на коллиматоре пренебрежимо малы (при 5 мм потери достигают ~50 %). Использование сдвоенного коллиматора позволяет при сохранении по сути кольцевой геометрии резонатора осуществлять контроль его длины, не используя традиционные для этого методы растяжения волокна, разрыва резонатора с помощью вставки двух коаксиально-ориентированных коллиматоров или перехода к линейно-кольцевой конфигурации резонатора.

Контроль длины резонатора реализованного фемтосекундного лазера, в совокупности с другими механизмами стабилизации, позволит создать высокостабильную гребенку оптических частот, для метрологических приложений.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «фемтосекундный лазерный комплекс». Автор выражает признательность Ньюшкову Б. Н., Коляда Н. А., Кобцеву С. М. за содействие в разработке.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Пивцов В. С.

**Борновский ряд для задачи рассеяния электромагнитной волны на параллельных цилиндрах**

Берёза А. С.

Новосибирский государственный университет

В работе рассматривается задача рассеяния плоской электромагнитной волны на двух параллельных однородных цилиндрах кругового сечения. Общей аналитической теории для такой системы нет, имеются лишь решения для различных частных случаев. К примеру, изучено аналитически рассеяние на одном идеально проводящем цилиндре [1], найдено численное решение для цилиндра эллиптического сечения [2], для двух цилиндров на диэлектрической подложке [3].

Используя метод функции Грина, задача сводится к одному возмущающему цилиндру, помещенному в пространство со специальной функцией Грина, после чего выводятся интегральные уравнения, связывающие внешнее поле и поля внутри цилиндров, которые разрешаются методом последовательных приближений.

Для случая рассеяния р-волны была построена функция Грина, получена первая борновская поправка к рассеянному полю и рекуррентные соотношения для нахождения последующих поправок. Проведено сравнение с численными методами: первое борновское приближения подходит для определения качественного характера рассеяния, второе и последующие могут быть использованы для описания его количественных характеристик.

---

1. Harrington R. F. Time-harmonic electromagnetic fields // IEEE Press 2001, с. 232.

2. Зимовец С. В., Гешев П. И. Метод граничных интегральных уравнений для расчета рассеяния света на двумерных наночастицах // Журнал технической физики, том 76, вып. 3, стр. 1-6, 2006.

3. Belai O. V., Frumin L. L., Perminov S. V., Shapiro D. A. Scattering of evanescent wave by two cylinders near a flat boundary // EPL, том 97, вып. 1, с. 10007, 2012.

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

## Волоконный лазер со случайно распределенной обратной связью на основе двухсердцевинного волокна

Бударных А. Е.

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

Принцип работы лазера со случайно распределенной обратной связью (СРОС лазер) основан на многократном рассеянии светового излучения из-за случайной неоднородности показателя преломления. В отличие от традиционного лазера, в котором резонатор образован двумя зеркалами, лазерная генерация в СРОС лазере не имеет модовой структуры, что позволяет применять ее для получения беспятковых изображений. В работе предлагается схема, в которой в дополнение к случайно распределенной обратной связи добавлено случайное распределение потерь излучения вдоль резонатора за счет применения двухсердцевинного световода.

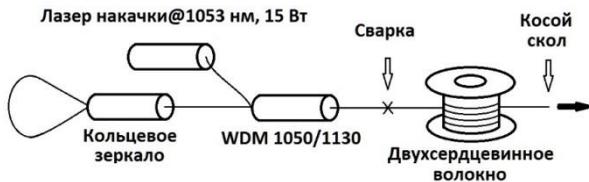


Рис. 1. Схема СРОС лазера на основе двухсердцевинного волокна

Схема СРОС лазера с полукрытым резонатором на основе двухсердцевинного волокна длиной ~550 м представлена на рис. 1. Линейно-поляризованное излучение накачки мощностью до 15 Вт заводилось в одну из сердцевин двухсердцевинного волокна через сварку волокон. В качестве одного из зеркал выступало кольцевое зеркало. Все компоненты были выполнены из волокна с сохранением поляризации. Для исключения точечных потерь выходной конец скалывался под косым углом.

Порог генерации в реализованном лазере составил порядка 10.5 Вт, а максимальная мощность генерации составила ~7 Вт на длине волны 1105 нм. Динамика интенсивности лазерной генерации имела квазинепрерывный характер. Ширина линии генерации на максимальной мощности составила менее 0.5 нм, что в 4-5 раза меньше ширины линии генерации аналогичного лазера на основе односердцевинного световода.

Более подробное описание параметров установки, а также обсуждение полученных результатов будет представлено в докладе.

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

## **Исследование распространения поверхностных волн по субволновым структурам в терагерцовом диапазоне**

Булгакова В. В.

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

Электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль замедляющих импедансных поверхностей, носят название поверхностных плазмонов (ПП). Замедляющими поверхностями могут быть, как поверхности раздела сред металл-диэлектрик, так и периодически гофрированные поверхности проводников. В видимом и среднем ИК диапазоне поверхностные плазмоны достаточно хорошо изучены, однако в терагерцовом (ТГц) диапазоне, к которому относятся длины волн от 30 до 300 мкм, они исследованы далеко не полностью из-за отсутствия до недавнего времени приемников и источников данного излучения. Терагерцовый диапазон представляет большой интерес для биологии и медицины, поскольку терагерцовое излучение является неионизирующим, а так же вращательные и колебательные моды многих биологических веществ лежат в данном спектральном диапазоне. Данная работа посвящена исследованию поверхностных плазмонов, распространяющихся по субволновым структурированным поверхностям, которые в англоязычной литературе называются «spoof»-плазмонами. В отличие от классических ТГц поверхностных волн, электромагнитное поле «spoof»-плазмонов локализовано вблизи поверхности, непосредственно в самой структуре, что может позволить на ее основе создать плазмонный сенсор. Мы исследовали возможность создания такого сенсора для биомедицинских применений. Для этого был выполнен теоретический анализ длины распространения ПП вдоль субволновой прямоугольной решетки на плоской поверхности; найдены оптимальные параметры решетки (период, ширина канавок, глубина канавок) для зондирования полярных и неполярных растворов; проведено численное моделирование в CST Microwaves studio электромагнитного поля вблизи структуры. Были изготовлены тестовые образцы с оптимальными параметрами, исследована их смачиваемость растворами и выполнены эксперименты по прохождению ПП вдоль решеток с использованием терагерцового излучения Новосибирского лазера на свободных электронах.

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

## **Источник лазерного излучения для субдоплеровского охлаждения атомов магния**

Витухин Л. Ю.

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

Возможность измерений с высокой точностью различных физических величин является важным условием развития фундаментальных и прикладных направлений физики. Из всех экспериментально определяемых величин частота может быть измерена с наивысшей точностью. Стандарты частоты используются в широком кругу приложений, поскольку целый ряд физических величин может быть исключительно точно определен путем измерения соответствующих частот.

В лаборатории, где выполнялась данная работа, разрабатывается и исследуется стандарт частоты на основе атомов Mg. Спектроскопия атомов производится в магнитно-оптической ловушке. Для загрузки атомов в ловушку необходимо их глубокое предварительное охлаждение. Его можно осуществить в две стадии: первая с использованием механизмов, называемых «оптическая патока», вторая с использованием циклического дипольного перехода в полях с градиентом поляризации. Для реализации второй стадии требуются пара лазерных источников с шириной линии менее 1 МГц, работающие на длине волны перехода  $3^3P_2 \rightarrow 3^3D_3 - 383$  нм.

В данном докладе представлены текущие результаты работы по созданию источника излучения на длине волны 383 нм. Необходимая длина волны получается путем генерации второй гармоники излучения с длиной волны 766 нм. полупроводникового лазера, мощность непрерывного излучения которого достигает 700 мВт. Для генерации второй гармоники используется нелинейный двусосный кристалл  $BiVO_4$ . Мощность непрерывного излучения с длиной волны 383 нм. достигает 20 мВт. и может быть значительно увеличена путем оптимизации системы. В теоретической работе, где рассчитаны параметры излучения для реализации субдоплеровского охлаждения атомов Mg, мощности 20 мВт. достаточно для реализации метода.

В докладе также представлены результаты спектроскопии насыщенного поглощения атомов магния в разрядной ячейке с полым катодом. Получены линии поглощения на переходах  $3^3P_2 \rightarrow 3^3D_3$ ,  $3^3P_1 \rightarrow 3^3D_2$ ,  $3^3P_0 \rightarrow 3^3D_1$ . Стоит отметить, что данные линии поглощения магния прописаны впервые.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Гончаров А. Н.

## Поиск особенностей спектроскопических свойств в кристалле YAG активированном ионами Yb

Воликова А. М.

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск

Кристаллы алюмоиттриевого граната  $Y_3Al_5O_{12}$ , допированные ионами иттербия (Yb:YAG) – хорошо известная активная среда, наиболее широко используемая в лазерных системах при концентрации ионов Yb не более 5-10 ат. %. В работе [1] в кристалле Yb:YAG методом “тепловых импульсов” при температуре  $T = 2.0-3.4$  К обнаружено аномальное поведение распространения неравновесных фононов при концентрации ионов Yb, равной 25 ат. %. Наблюдался максимум коэффициента диффузии неравновесных фононов при данной концентрации, что соответствует увеличению длины их свободного пробега. Предполагается, что это связано с “упорядоченным” расположением атомов иттербия в кристаллической решетке YAG из-за преимущественного заполнения атомами Yb неэквивалентных позиций Y в элементарной ячейке граната. В этом случае при данной концентрации следует ожидать также изменение спектрально-релаксационных свойств ионов  $Yb^{3+}$  в кристалле YAG и генерационных параметров Yb:YAG активной среды.

Цель исследований состояла в поиске аномалий в спектроскопических свойствах кристаллов  $(Y_{1-x}Yb_x)_3Al_5O_{12}$  при изменении концентрации примесных ионов  $x = 0 \div 1$ .

В работе представлены результаты исследования спектральных и лазерных характеристик кристаллов  $(Y_{1-x}Yb_x)_3Al_5O_{12}$  при  $T=300$  К в зависимости от концентрации иттербия  $x = 0 \div 1$ . Определены методы исследования возможных аномалий в спектральных свойствах кристаллов YAG с различной концентрацией примесных ионов иттербия и использования этих аномалий в лазерных системах. Измерены плотности образцов кристаллов, люминесцентные времена жизни иона иттербия, сняты спектры поглощения и излучения, рассчитаны концентрации ионов иттербия, сечения поглощения, излучения и усиления и радиационные времена жизни. Проведен анализ полученных экспериментальных данных.

---

1. Иванов С. Н., Хазанов Е. Н., Таранов А. В. Аномалии при распространении тепловых импульсов в твердых растворах иттрий–редкоземельных алюминиевых гранатов // Письма в ЖЭТФ. 1984. Т.40. С. 20.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Пестряков Е. В.

## Исследование коэффициента пропускания нелинейного усиливающего петлевого зеркала с двумя усилителями

Гервазиев М. Д.

Новосибирский государственный университет

Волоконные лазеры с нелинейным усиливающим петлевым зеркалом (НУПЗ) представляют собой перспективную конфигурацию цельноволокнных лазеров, генерирующих ультракороткие импульсы. Предельная мощность НУПЗ ограничена только лишь характеристиками используемых волоконных компонентов и значительно выше, чем для насыщающихся поглотителей на основе полупроводниковых и наноматериалов с эффектом нелинейного поглощения.

Однако в традиционных схемах лазеров с НУПЗ пиковая мощность излучения ограничена. Работа НУПЗ основана на том, что коэффициент пропускания НУПЗ зависит от разности фаз двух встречных волн. Разность фаз зависит от пиковых мощностей двух встречных волн. Функция пропускания НУПЗ является периодической и обладает максимумом пропускания при разности фаз равной  $\Pi$ . Для обеспечения одноимпульсной генерации необходимо, чтобы разность фаз была порядка  $\Pi$ , что накладывает ограничение на пиковую мощность импульсов для сохранения одиночного импульса.

В данной работе предложена и исследована новая схема НУПЗ с двумя отрезками усиления (рис. 1), позволяющими независимо управлять набегом фазы каждой из встречных волн, и в итоге менять разность фазы встречных волн в НУПЗ независимо от пиковой мощности входного импульса.

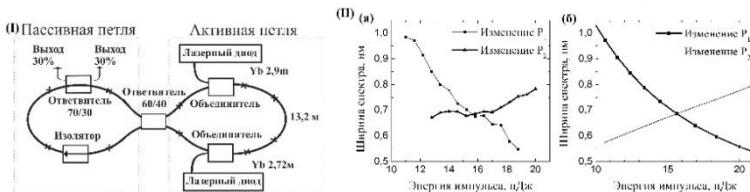


Рис. 1. (I) Схема резонатора. (II) Изменение ширины спектра при изменении величины первой или второй накачки. (б) экспериментальные результаты, (б) численный расчет.

Дополнительная степень свободы дает возможность в более широких диапазонах варьировать различные параметры излучения: ширину спектра, пиковую мощность импульсов, их длительность не зависимо друг от друга, что делает волоконные лазеры с НУПЗ более гибкими и надёжными инструментами для решения различных научных и прикладных задач.

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

**Исследование термонаведенных искажений  
в дисковом активном элементе под действием  
многопучковой пространственно-периодической накачки**

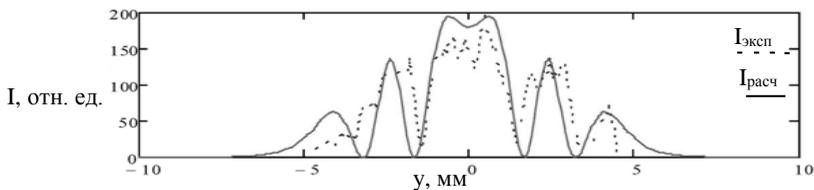
Гурьев Д. А.

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва  
Институт общей физики имени А. М. Прохорова, Москва

Целью данной работы являлось интерференционное исследование термонаведенных искажений в дисковом активном элементе (ДАЭ) (Nd:YVO<sub>4</sub>) под действием многопучковой пространственно-периодической накачки с периодом 0,5 мм, и диаметром пучков 0,3 мм. В основе экспериментальных исследований лежали методы лазерной интерферометрии. Рассматривался и анализировался вид интерференционных картин, образованных пучками с интенсивностями  $I_1$ ,  $I_2$ , являющимися отражениями от двух поверхностей активного элемента и локализованные в плоскости входной поверхности ДАЭ. Вид интерференционной картины:  $I = 2I_1(1 + \cos\varphi) + |I_2 - I_1|$  (1), здесь  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$  – разность фаз между интерферирующими волнами;  $\varphi_1 = 4\pi nl / \lambda$  (2) – разность фаз в отсутствии излучения накачки;

$$\varphi_2 = \frac{4\pi\Delta(nl)_{max}}{\lambda} e^{-4\ln 2 \left[ \frac{(y-y_0)^2}{wy^2} \right]} = \pi Ne^{-4\ln 2 \left[ \frac{(y-y_0)^2}{wy^2} \right]} \quad (3)$$

добавочная разность фаз обусловленная изменением оптической толщины ДАЭ за счет нагрева под действием излучения накачки,  $wy_0$  – ширины распределения по уровню 0,5,  $N$  соответствует суммарному числу светлых и темных зон в экспериментально наблюдаемой интерференционной картине.



*Рис. 1.* Распределения интенсивности в интерференционной картине экспериментально наблюдаемое (пунктир) и расчетное (сплошная линия).

Показано, что хорошее соответствие с экспериментально наблюдаемой картиной даёт функция вида (3). Пример экспериментально наблюдаемого распределения интенсивности и расчетного (1)-(3) показан на рисунке (см. рис. 1).

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук Цветков В.Б.,  
канд. физ.-мат. наук Николаев Д.А.

**Мощные импульсно-периодические ИК-лазеры на электронных переходах нейтральных атомов Хе (ксенона) и Кг (криптона)**

Гущин А. С., Филонов А. А.

Новосибирский государственный технический университет

Несмотря на то, что первый импульсно-периодический ИК-лазер на электронных переходах нейтральных атомов инертных газов (Ar, Kr, Xe) был создан в далеком 1962 году, работы по их изучению ведутся и по сей день. Причиной этого, в том числе, служит широкий диапазон его возможных применений: медицина, наука, военная промышленность, где актуально использование малогабаритных и надежных ИК лазеров. Из преимуществ данных лазеров можно отметить широкий набор длин волн излучения в ближнем ИК диапазоне (например, от 1 мкм до 4 мкм). Перестройка достигается изменением рабочего давления лазера, соотношения компонентов смеси, параметров накачки лазера, дифракционными элементами, включенными в состав резонатора лазера. Также преимуществами данных лазеров являются их высокая эффективность (КПД может составлять единицы процентов), низкий порог генерации и широкий диапазон длительности импульса излучения (от десятков до сотен нс), а, следовательно, и большой пиковой мощности (мегаваттного уровня). К решающим преимуществам можно отнести безопасность эксплуатации данных лазерных источников (отсутствие агрессивных газовых компонент в составе газовой смеси) и низкая стоимость эксплуатации при высоком ресурсе и широкие возможности доставки ИК лазерного излучения к объекту воздействия. В данном докладе представлены результаты экспериментального исследования энергетических, временных и спектральных выходных характеристик излучения импульсно-периодических ИК лазеров на электронных переходах нейтральных атомов инертных газов Хе и Кг. При исследовании Хе I-лазера с активным объемом лазерной ячейки около 100 см<sup>3</sup> была получена энергия в импульсе на уровне 60 мДж и КПД на уровне 0,16 %. Также в ходе экспериментального исследования были зарегистрированы предположительно новые спектральные лазерные линии. При предварительном исследовании Кг I-лазера была получена энергия в импульсе около 1 мДж. В ходе проведения одного из этапов цикла исследований, направленного на оптимизацию геометрии разрядного промежутка с целью достижения максимальной эффективности, с применением лазерного излучателя с активным объемом 60 см<sup>3</sup> получена энергия до 5 мДж в импульсе излучения Хе I-лазера при КПД 0,02 %.

Проведено экспериментальное исследование, с целью масштабирования лазерных источников (Хе I-лазера и Кг I-лазера).

Научный руководитель – Каргапольцев Е. С.

**Изучение волоконного иттербиевого лазера с самосканированием частоты на основе волокна с увеличенной площадью поля моды**

Дробышев Р. В.

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

Волоконные лазеры приобрели большую популярность благодаря таким свойствам как компактность, надежность и качество выходного пучка. Также в волоконных лазерах наиболее ярко проявляется эффект самосканирования частоты. Самосканирование частоты – это самоиндуцированное изменение оптической частоты лазера. Этот эффект обусловлен возникновением динамических решеток коэффициента усиления и показателя преломления в активной среде лазера [1]. Такие лазеры генерируют излучение, у которого оптическая частота регулярно изменяется с течением времени без специальных фильтров. Это делает волоконные самосканирующие лазеры удобным инструментом для изучения оптических свойств различных систем, например волоконных датчиков на основе решеток Брэгга. Однако эффект самосканирования частоты наблюдается при достаточно малых мощностях генерации. В то же время, высокая мощность необходима в ряде приложений, например, для генерации гармоник высших порядков. В данной работе был собран волоконный лазер с увеличенной площадью поля моды сердцевины волокна, обладающий высокой мощностью генерации и при сохранении эффекта сканирования.

В работе описан эксперимент, в ходе которого был исследован самосканирующий лазер на основе иттербиевого волокна с увеличенной площадью поля моды сердцевины (диаметр ~ 11 микрон). Максимальная средняя мощность составила 1.4 Вт, пиковая – 6 Вт. Динамические характеристики этого лазера были сопоставлены с характеристиками лазера аналогичной конструкции на основе 5-микронного волокна. Было установлено, что свойства лазеров слабо отличаются друг от друга. Эксперименты также показали, что мгновенная ширина лазерной линии для лазера с увеличенным полем моды в два раза меньше, чем для стандартного лазера. Этот факт может свидетельствовать о том, что амплитуды динамических решеток усиления и показателя преломления, которые ответственны за режим сканирования частоты, меньше для лазера с увеличенным полем моды.

---

1. Lobach I.A. et al// Laser Physics Letters, 11(4), 045103 (2014)

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

## Оптимизация параметров оптических компрессоров для импульсов ближнего и среднего ИК диапазонов

Епланов Д. О.

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время активно обсуждаются пути генерации мощных фс импульсов в ближнем и среднем ИК диапазонах. Такие источники необходимы для генерации аттосекундных импульсов предельно короткой длительности. В работе [1] предложена схема генерации широкополосного излучения в области 2-15 мкм до тераваттного уровня мощности при параметрическом усилении в нелинейных кристаллах chirпованных импульсов сигнальной и холостой волн двухканальной мультитераваттной лазерной системы, созданной в ИЛФ СО РАН [2]. В работе анализируются особенности создания систем стретчер-компрессор в диапазоне 0.8-15 мкм. Исследовано влияние дисперсии высоких порядков, спектрально-углового chirпа и спектральных ограничений на временной профиль сжатого импульса. Проведен сравнительный анализ требуемых точностей настройки системы стретчер-компрессор в различных спектральных диапазонах. Даны физические обоснования полученных результатов. Предложены методы компенсации углового chirпа импульсов холостой волны. Определены требования на качество поверхностей элементов системы. Показано, что в области 7-15 мкм с использованием решеток с плотностью штрихов 150–70 шт/мм возможно сжатие до нескольких периодов несущей (23-50 фс) с пиковой мощностью ~ТВт. Разработан компрессор для сжатия импульса длительностью 40пс с несущей 814 нм до ~30 фс с использованием решеток с плотностью штрихов 1400 шт/мм. Разработана и экспериментально опробована методика настройки двухрешеточного компрессора для излучения 814нм с минимальной длительностью 40фс.

---

1. Trunov V. I., Frolov S. A., Pestryakov E. V. Generation and parametric amplification of femtosecond radiation up to terawatt power in the mid-infrared. Proceeding of SPIE Vol. 9680, 96803N-1, 2015.

2. Leshchenko V. E., Trunov V. I., Frolov S. A. [and others]. Coherent combining of multimillijoule parametric-amplified femtosecond pulses. Laser Phys. Lett. 11, 095301, 2014.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, проф. Трунов В. И.

**Генерация чирпованных диссипативных солитонов во внешнем резонаторе в полностью волоконной схеме**

Ефремов В. Д.

Новосибирский государственный университет

Институт автоматики и электротехники СО РАН, г. Новосибирск

Наиболее эффективным образом получения мощных фемтосекундных импульсов является генерация сильночирпованных диссипативных солитонов (СЧДС). Также известно, что генерация излучения на новых длинах волн возможна посредством эффекта вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). Недавно было продемонстрировано успешное объединение этих подходов – генерация СЧДС на новых длинах волн посредством ВКР. Использовался германиевый пик усиления (~13 ТГц), так что сдвиг длины волны был относительно небольшим. Для увеличения спектрального сдвига можно использовать другие типы волокон, например, фосфосиликатные ( $P_2O_5$ ), где этот сдвиг составляет величину ~39 ТГц. При накачке в области 1.1 мкм такое волокно позволяет получить генерацию в районе 1.3 мкм. Подобные источники востребованы, в первую очередь, для биомедицинских применений, таких как оптическая когерентная томография и биовизуализация (bioimaging).

В данной работе мы исследуем возможность генерации СЧДС в области 1.3 мкм. Для данного диапазона нет активных сред, позволяющих получить непосредственную генерацию, а существующие методы получения импульсов в районе 1.3 мкм, такие как параметрическое преобразование частот или рамановский самосдвиг частоты, сложны и крайне дорогостоящи в реализации. Схема исследуемого лазера состоит из волоконного лазера накачки и внешнего волоконного кольцевого рамановского резонатора. Так как генерация сильночирпованных диссипативных солитонов возможна только в области нормальной дисперсии, значения этого параметра были предварительно измерены для ряда доступных волокон. Лазер накачки генерирует диссипативные солитоны, которые после предварительного усиления заводятся во внешний резонатор. Длина внешнего кольца выбрана так, чтобы частота повторения накачки совпала с частотой прохождения солитонов по кольцу.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Харенко Д. С.

## Исследование динамики формирования сверхзвуковой газовой струи в схеме лазерно-плазменного ускорения электронов

Иванова К. А.

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск

В ИЛФ СО РАН ведется работа по разработке и созданию мощной фемтосекундной лазерной системы на основе параметрического усиления [1]. В будущем планируется использование излучения разрабатываемой системы для создания комптоновского источника высокоэнергетических фотонов с энергией до сотен кэВ. На данном этапе требуется реализовать лазерно-плазменное ускорение электронов, для которого необходимо контролировать распределение плотности лазерной плазмы, формируемой в сверхзвуковой газовой струе. Для этого использовался датчик волнового фронта Шака-Гартмана, разработанный нами ранее совместно с ИАиЭ СО РАН. Разработанный датчик с апертурой  $11 \times 11$  мм характеризуется большим динамическим диапазоном ( $88,83 \lambda$ ), высоким пространственным разрешением (330 мкм) и чувствительностью  $0,1 \lambda$ . Для реконструкции волнового фронта использовались интегральный метод и метод разложения по полиномам Цернике (до 665 полиномов). Вычислительные алгоритмы являются уникальными и были написаны сотрудниками ИМКЭС СО РАН (Томск).

Экспериментально были исследованы параметры излучения, прошедшего через газовую струю, сформированную соплами Лавала различного профиля. Показано, что ширина струи варьируется от 1,3 мм до 1,8 мм, длина струи от 2,4 мм до 4,2 мм в зависимости от характеристик используемого сопла. Максимальный набег фазы составил  $0,3 \lambda$ . Так же было отмечено, что стационарное течение газа в струе формируется через 2 мс после начала открытия клапана.

Для подтверждения соответствия измеренных фазовых профилей сверхзвуковому течению газа было проведено сравнение с объектом, в котором было сформировано заведомо дозвуковое течение газа цилиндрическим соплом. В результате сравнения измеренных экспериментально фазовых профилей и литературных данных был сделан вывод о соответствии измеренных фазовых профилей струи, сформированной соплами Лавала, сверхзвуковому течению газа.

---

1. Bagayev S. N., Trunov V. I., Pestryakov E. V., Frolov S. A., Leshchenko V. E., Kokh A. E. and Vasiliev V. A. Super-intense femtosecond multichannel laser system with coherent beam combining // Laser Physics, Vol. 24, 2014, 074016.

## **Исследование стеклования водных растворов глицерина методами калориметрии и комбинационного рассеяния света**

Карпегина Ю. А.

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

Водные растворы глицерина имеют широкий практический интерес в связи с их криопротекторными свойствами при низких температурах. Криопротекторные растворы используют при замораживании биологических объектов для длительного хранения. Так как методы криоконсервации были получены эмпирическим путем, они требуют оптимизации. Для этого необходимо понимать, какие процессы происходят при замораживании. Целью данной работы являлось получение и исследование зависимости температур стеклования от концентраций глицерина в водных растворах. Для этого использовались методы дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и комбинационного рассеяния света (КРС).

В ходе данной работы с помощью метода ДСК получена зависимость температуры стеклования от концентрации раствора глицерин-вода. Для концентраций, допускающих как кристаллизацию, так и полное стеклование раствора, также были получены температуры стеклования. Полученные данные позволили провести оценку остаточной концентрации некристаллической части раствора. Согласно этой оценке, доля некристаллической части составляет ~75 %.

Для подтверждения полученной оценки использовался бесконтактный, неинвазивный, неразрушающий метод комбинационного рассеяния света. Были изучены спектры КРС замороженных водных растворов глицерина, допускающих кристаллизацию. В результате показано, что некристаллическая часть кристаллизующихся растворов содержит 75 % глицерина. Ожидается, что такая концентрация характерна для раствора, окружающего биологический объект при замораживании.

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-33-00144.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН Суровцев Н. В.

**Динамический режим формирования  
резонансов когерентного пленения населенностей и  
оптимизация режимов стабилизации частоты в атомных часах**

Коваленко Д. В.

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

В настоящее время важное место среди атомных часов занимают часы, основанные на эффекте когерентного пленения населенностей (КПН) [1,2], которые имеют широкий спектр приложений в различных областях науки и техники. Суть эффекта КПН состоит в том, что при определенных условиях электромагнитное поле перестает взаимодействовать с атомной средой, и формируется узкий темный резонанс. Главными преимуществами КПН часов являются малое энергопотребление и компактность в сочетании с относительно высокими метрологическими характеристиками.

В данной работе решалась задача об определении оптимальных режимов стабилизации частоты в КПН часах. На основе разработанного нами теоретического метода [3], позволяющего находить точное периодическое решение для матрицы плотности, минуя Фурье-анализ, был рассчитан сигнал ошибок для произвольных параметров лазерного поля и гармонической модуляции частоты, обычно используемой для частотной стабилизации. Также показано, что оптимальный режим стабилизации соответствует динамическому режиму взаимодействия поля с атомами, который существенно отличается от стандартного описания темных резонансов в рамках квази-стационарного подхода (при малых частотах модуляции).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 16-12-10147), Министерства образования и науки РФ (проект № 3.1326.2017/ПЧ), Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-32-00127).

- 
1. Vanier J. Atomic clocks based on coherent population trapping: a review // *Appl. Phys.* B. 2005. Vol. 81. P. 421-442.
  2. Shah V., Kitching J. Advances in coherent population trapping for atomic clocks // *Adv. At. Mol. Opt. Phys.* 2010. Vol. 59. P. 21-74.
  3. Yudin V. I., Taichenachev A. V., Basalaev M. Yu. Dynamic steady state of periodically driven quantum systems // *Phys. Rev. A.* 2016. Vol. 93. P. 013820.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук Юдин В. И.,  
канд. физ.-мат. наук Басалаев М. Ю.

**Исследование характеристик фотодетектора на основе кремниевого лавинного фотодиода для квантовой криптографической линии связи**Коляко А. В.<sup>1,2</sup>, Плешков А. С.<sup>1,3</sup><sup>1</sup>Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова  
СО РАН, г. Новосибирск<sup>2</sup>Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск<sup>3</sup>Институт автоматике и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск

На сегодняшний день квантовая криптография является наиболее развитой областью квантовой информатики с точки зрения практического применения. Секретная передача данных между двумя легитимными пользователями осуществляется по квантовой линии связи посредством одиночных фотонов. Невозможность незаметного прослушивания посторонним лицом передаваемых данных основывается на законах квантовой физики. В результате генерируется квантовый ключ для шифровки и дешифровки сообщений, который известен исключительно двум пользователям.

Для исследования генерации квантового ключа в атмосферных линиях связи в Институте физики полупроводников СО РАН в настоящее время создаётся экспериментальная установка. Для передачи данных планируется использовать протокол BB84, в котором последовательность нулей и единиц кодируется с помощью одиночных поляризованных фотонов. Для генерации секретного ключа уровень ошибок в первоначально переданном (т. н. «сыром») ключе не должен превышать 11 %. Одним из источников ошибок являются темновые импульсы детекторов одиночных фотонов.

В настоящей работе были измерены зависимости частоты темновых импульсов и эффективности однофотонной регистрации фотодетектора на основе кремниевого лавинного фотодиода (ЛФД) от напряжения питания ЛФД при разных температурах. На основании полученных экспериментальных данных была получена прогнозируемая зависимость скорости передачи «сырого» ключа от коэффициента пропускания квантового канала при уровне ошибок, связанных с темновыми шумами детектора, 5 %.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Третьяков Д. Б.

## Расчет лазера инжекции с активной модуляцией добротности криогенной системы накачки параметрического усилителя

Купцов Г. В.

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

Лазерные системы с одновременно высокими средней и пиковой мощностями находят все более широкое применение. Это определяет актуальность дальнейшей разработки таких лазерных систем.

В ИЛФ СО РАН разрабатывается полностью диодно-накачиваемая лазерная система с безжидкостным замкнутым циклом криогенного охлаждения, работающая с частотой повторения импульсов 1 кГц [1]. Система состоит из двух синхронизованных параллельных каналов: канала лазерной накачки субджоульного уровня и канала параметрического усиления [2]. В рамках развития канала лазерной накачки, была проведена разработка лазера инжекции с активной модуляцией добротности. Развитие необходимо для достижения энергии импульса 300 мДж на выходе канала.

Моделирование динамики лазера проводилось при помощи численного решения системы скоростных уравнений с использованием метода Рунге-Кутты-Фельберга. Моделирование резонатора лазера проводилось при помощи аналитического решения уравнений матричной оптики.

По результатам моделирования, исследованы зависимости энергии и временного профиля выходного импульса диодно-накачиваемого Yb:YAG лазера от величины внутренних потерь, длины и конфигурации резонатора, параметров накачки и управляющего импульса затвора. Рассмотрены режимы работы при комнатной (300 К) и криогенных (77 К, 120 К) температурах. Определены оптимальные параметры и оценено влияние отклонений от них на параметры выходного импульса.

Работы поддержаны программами Президиума РАН "Экстремальное лазерное излучение: физика и фундаментальные приложения" и СО РАН.

---

1. Kuptsov G. V., Petrov V. V., Petrov V. A., Kirpichnikov A. V., Laptev, A. V., Pestryakov E. V. The development of amplification channels of high-intensity laser system with 1 kHz repetition rate // Журнал прикладной спектроскопии. 2016. Т. 83. № 6–16 (спец. выпуск).

2. Kuptsov G. V., Petrov V. V., Laptev A. V., Petrov V. A., Pestryakov E. V. Simulation of picosecond pulse propagation in fibre-based radiation shaping units // Quantum Electronics. 2016. Vol. 46. No. 9. P. 801–805.

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

## Электрофизические характеристики МЛЭ пленок КРТ после имплантации ионов мышьяка

Ляпунов Д. В.

Томский государственный университет

Молекулярно-лучевые эпитаксиальные (МЛЭ) слои твердых растворов кадмий-ртуть-теллур (КРТ) широко используются для создания фотонных приемников оптического излучения. Особенностью этого материала является способность поглощения ИК излучения в диапазоне длин волн от 1 до 25 мкм. В настоящее время основная технология создания фотодиодов на этом материале – формирование слоя n-типа на p-материале при помощи ионной имплантации. Для уменьшения темновых токов представляется более выгодным изготавливать фотодиодные структуры типа «р на n». Но для таких структур характерен меньший выход годных приемников и высокий уровень неоднородностей по площади фотодиодной матрицы.

В работе объектом исследований являлись 5 серий эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом МЛЭ в ИФП СО РАН г. Новосибирска. Образцы имели разный состав и толщину рабочего слоя. Образцы облучались ионами мышьяка с энергией 190 и 300 кэВ дозами  $10^{13}$  –  $10^{15}$  см<sup>-2</sup>.

В статье [1] показано, что в диапазоне энергий 180–300 кэВ имплантированный мышьяк залегает в слое толщиной 1 мкм. В процессе постимплантационного отжига происходит расплывание профиля, причем глубина расплывания зависит от условий отжига.

Были измерены вольт-амперные характеристики полученных структур и построены профили распределения электрически активных радиационных дефектов.

Показано, что глубина залегания p-n перехода не зависит от энергии имплантируемых ионов, в то время как электрические характеристики структур различаются. С ростом дозы ионов профили смещаются вглубь образца. Профили для образцов без поверхностного варизонного слоя залегают несколько глубже, чем для образцов с варизонным слоем.

---

1. Bubulac L. O., Irvine S. J. C., Gertner E. R., Bajaj J., Lin W. P. As diffusion in Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te for junction formation // Journal of Electronics Materials. 1995. Vol. 24. № 5. P. 609–615. // Semicond. Sci. Technol. 1993. Vol. 8. P. 270–275.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Коротаев А. Г.

## **Исследование Кнудсовского течения паров рубидия в стеклянный капилляр**

Макаров А. О.

Новосибирский государственный университет

В настоящее время в литературе имеется большое количество публикаций, посвящённых оптическим экспериментам с резонансно возбужденными атомами в стеклянных ячейках, внутренние стенки которых покрыты антирелаксационными полимерными покрытиями. У всех этих экспериментов имеются серьёзные проблемы, связанные с взаимодействием атомов с внутренними стенками стеклянных резонансных ячеек. Это взаимодействие приводит к долгому времени пребывания атомов на поверхности стекла и, как результат, к быстрой релаксации поляризованных состояний оптически накаченных атомов.

В данной работе впервые получены экспериментальные результаты, проливающие свет на ряд вопросов, которые до сих пор оставались без ответа. В частности, в чём причина большого несоответствия достаточно разумной теоретической оценки времени пребывания атомов на поверхности с результатом прямого измерения этого времени в эксперименте.

Представлены результаты измерения поверхностного потенциала и времени пребывания атомов Rb на поверхности молибденового стекла (С52-1). Обнаружено, что зависимость времени пребывания от температуры для атомов Rb при температурах меньше температуры стеклования хорошо описывается формулой Аррениуса. Измерен поверхностный потенциал, который составил величину 0,67 eV для Rb. Обнаружено, что при температурах выше температуры стеклования, время пребывания этих атомов аномально возрастает. Это обусловлено тем, что при столкновении атома с поверхностью расплавленного стекла, он может проникнуть в объём стекла, а затем посредством диффузии, вернуться назад и десорбироваться с поверхности. В этом случае время пребывания определяется диффузионным временем и время пребывания атома на стекле может быть очень значительным, несмотря на относительно низкий потенциальный барьер на поверхности и высокую температуру.

Работа выполняется в рамках дипломной работы бакалавра в ИАиЭ СО РАН.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Атутов С. Н.

**Разработка технологии структурирования поверхности  
полупроводниковых и оптических материалов  
методом лазерной абляции**

Мерещук А. В.

Новосибирский государственный технический университет

Облучение твердых материалов лазерными импульсами высокой энергии может приводить к удалению вещества с поверхности материала. Данный метод называется лазерной абляцией и широко используется в микро- и нанообработке материалов. Пикосекундное лазерное излучение позволяет формировать структуры высокого качества, поскольку материалу сообщается большое количество энергии за очень короткое время.

На данный момент самыми известными полупроводниками являются кремний, германий, арсенид галлия. Из них изготавливают мощные силовые выпрямители, транзисторы и др. С помощью метода лазерной абляции пикосекундными импульсами возможно получение интегральных схем, имеющие нанометровые (вместо обычных микронных) размеры элементов, которые выполнены на полупроводниковом материале. Что позволит создавать приборы с повышенной эффективностью и низким энергопотреблением.

Другим видом материала являются оптические материалы (стекло, кварцевое стекло и др.). С помощью лазерной абляции возможно создание многоуровневых дифракционных и микро- оптических элементов путём прямого структурирования поверхности оптических прозрачных материалов.

Поэтому актуальной является задача определения диапазона параметров (энергии импульсов, частоты импульсов и др.), оптимизирующих соотношение качество/скорость обработки материалов.

Целью данной работы является разработка технологии структурирования поверхности полупроводниковых и оптических материалов методом лазерной абляции пикосекундной длительности.

В результате создан лабораторный стенд для отработки метода лазерной абляции, подобраны оптимальные параметры для получения качественных структур. Получены изображения структур на материалах с использованием интерференционного микроскопа-нанопрофилометра.

Научный руководитель – Завьялова М. А.

**Создание дополнительной разности потенциалов плазма-поверхность  
наложением на лазерную плазму СВЧ поля и оценка возможности  
её диагностики спектральными методами**

Осокин В. Б.

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск

Новосибирский государственный технический университет

В настоящее время как никогда актуальна задача модификации различных материалов, особенно – упрочнение металлов. Очень часто важны именно свойства поверхности материала, например, различные лезвия, резцы станков, цилиндры ДВС, трубы, ёмкости и т. д. Одним из эффективных методов модификации поверхности является использование лазерной плазмы для имплантации ионов азота и, как следствие, получение фактически нового сплава.

Метод заключается в зажигании оптического пульсирующего разряда при помощи  $\text{CO}_2$  лазера вблизи поверхности металла и подаче высокоскоростной струи азота, являющейся источником ионов для имплантации. Параметры работы лазера подобраны таким образом, чтобы свести к минимуму термические эффекты и избежать плавления металла, оставив эффектом воздействия поток ионов из плазмы в поверхность, а также возникающие из-за периодичности импульсов, ударные волны.

Для улучшения качества имплантации ионов азота в металл, были проведены работы по разработке, созданию и испытанию резонатора технологической головки. Его назначение состоит в том, чтобы при помощи внешнего СВЧ поля создать в плазме определённые условия для интенсивного покидания её электронов в металл, увеличивая таким образом разность потенциалов между плазмой и поверхностью, благодаря чему ионы взаимодействуют с металлом с энергией до сотен эВ.

Произвести оценку работы метода было возможно только спектральным методом, а именно сравнив эмиссионные спектры лазерной плазмы без воздействия СВЧ поля и под его воздействием.

В рамках исследования была создана установка для накачки лазерной плазмы СВЧ полем, впервые разработан, создан и исследован прототип резонатора технологической головки.

Было экспериментально подтверждено улучшение имплантации ионов под воздействием СВЧ поля, учитывая этот ценный опыт, был модифицирован и изготовлен новый резонатор технологической головки в двух вариантах. Также были получены металлические образцы, поверхность которых модифицирована периодическим воздействием лазерной плазмы с потоком ионов азота.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. Титов Е. А.,  
Медведев А. Э.

## Моделирование канала оптической связи на рассеянном излучении в атмосферной среде

Познахарев Е. С.

Томский государственный университет

Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева, г. Томск

Оптическая связь—это один из способов передачи данных. Принцип её функционирования через атмосферный канал состоит в следующем: на первом этапе в оптический источник вводится информация, посредством модуляции оптического сигнала (частотная, частотно-импульсная, импульсно-временная). В дальнейшем сигнал поступает в атмосферный канал связи и после его прохождения, преобразованный атмосферной средой регистрируется приемной системой. Принятый сигнал поступает на устройство демодуляции, где из него извлекается информация. Атмосферная оптическая связь разделяется на две группы: в прямой видимости и вне прямой видимости на рассеянном излучении.

В связи с тем, что каналы оптической связи в прямой видимости, несмотря на высокую скорость передачи данных, имеют существенный недостаток, связанный с прерыванием процесса передачи данных при наличии на линии связи объекта. Этому недостатку лишены системы оптической связи на рассеянном излучении.

В данной работе, для определения максимального расстояния связи, было выполнено статистическое моделирование канала оптической связи на рассеянном излучении в атмосферной среде для следующих условий: длина волны лазерного излучения  $\lambda = 510,6$  нм; метеорологическая дальности видимости  $S_M = 10$  км; угол источника  $\theta_0 = 85^\circ$ ; угол приёма  $\theta_d = 85^\circ$ ; угол расходимости пучка  $\nu_0 = 0.0034^\circ$ ; угол поля-зрения приёмника  $\nu_d = 2^\circ$ ; длительность импульса  $\Delta t = 30$  нс; мощность одного импульса источника  $P_0 = 1\ 8182$  Вт; базовое расстояние от источника до приёмника  $Y_N = 0.5, 1, 2, 5, 10, 15, 20$  и  $30$  км; в качестве приемника рассматривается ФЭУ-17а. Турбулентность не учитывалась.

Расчеты показывают, что в указанных условиях предельное базовое расстояние канала связи равно  $25$  км, а количество передаваемых импульсов меняется от  $3.2 \cdot 10^7$  до  $5 \cdot 10^6$  импульсов в секунду с ростом базового расстояния от  $0.5$  до  $30$  км.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Тарасенков М. В.

**Исследование термодрейфов трехкоординатного интерферометра,  
предназначенного для измерения геометрии  
наконечников зондов нанотвердомеров**

Понарина М. В., Казиева Т. В.

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, г. Москва

Измерение твердости на нанометровом масштабе линейных размеров актуально при исследовании тонких пленок и покрытий, а также при изучении свойств отдельных фазовых и структурных составляющих различных сплавов. Величина твердости материала в нано-объеме определяется вдавливанием острого алмазного наконечника с одновременной регистрацией приложенной к индентору нагрузки и перемещения индентора. При работе всех нанотвердомеров существует проблема точного определения формы индентирующего наконечника. Известно, что при взаимодействии с твердыми поверхностями, геометрия наконечника изменяется (затупление кончика, стачивание ребер и т.п.). Все эти параметры влияют на площадь поверхности наконечника зонда и, как следствие, на определение характеристик материала. Таким образом, для проведения достоверных измерений нанотвердости требуется обеспечение метрологического контроля формы наконечника индентора с субнанометровой точностью. В качестве системы, способной проводить характеризацию формы инденторов нанотвердомеров, предлагается трехкоординатный лазерный интерферометр с поляризационным разделением лучей в опорном и измерительном плечах. Разработанная оптическая схема позволяет встраивать интерферометр в серийно выпускаемые нанотвердомеры. Диапазон измерений интерферометра по трем осям составляет  $100 \times 100 \times 10$  мкм, разрешение измерений 0,01 нм.

Чувствительность, точность и разрешающая способность интерферометрических измерений зависят от характеристик конкретного устройства и степени изоляции системы от внешних факторов. Исследование ошибок интерферометра показало, что основной вклад в спектр шумов вносят температурные колебания воздуха, обусловленные наличием разного рода конвективных и турбулентных потоков в окружающей измерительную установку среде. В работе предложено несколько способов устранения тепловых эффектов, влияющих на точностные характеристики интерферометра.

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

## **Характеристика квадрупольной ловушки для оптического стандарта частоты на одиночном ионе иттербия-171**

Румынин К. М.

Новосибирский государственный университет

Современные методы точного измерения физических величин, в частности частоты и времени, являются неотъемлемой частью на пути развития фундаментальных и прикладных направлений физики. Создание нового поколения сверхточных оптических стандартов частоты и времени – одна из наиболее важных фундаментальных задач прецизионной лазерной спектроскопии. Наиболее стабильными в настоящее время считаются стандарты на основе локализованных в пространстве атомов или ионов. Одним из перспективных кандидатов на использование в таких оптических стандартах частоты является ион иттербия-171.

Для создания оптического стандарта частоты на основе иона иттербия, необходимо ограничить ион в достаточно небольшой области пространства на достаточно длительное время. Для этой цели в данной работе используется квадрупольная ионная ловушка, характеризующаяся глубиной потенциала квадрупольного поля, параметрами устойчивости и секулярными частотами.

В ходе проделанной работы из диаграммы устойчивости были определены параметры устойчивости, определяющие секулярные частоты иона в ловушке. Далее были получены зависимости флюоресценции от частоты и амплитуды поля, прикладываемого к компенсационным электродам, находящимся в радиальной плоскости ловушки. При типичной амплитуде 500 В в спектре флюоресценции появляются провалы на частоте прикладываемого поля 500 кГц. Эта частота соответствует секулярной частоте иона в радиальной плоскости. При изменении амплитуды прикладываемого поля наблюдается смещение секулярных частот. Это свидетельствует об ангармоническом движении иона в ловушке. Создание идеальной ловушки, обеспечивающей чистый квадрупольный потенциал, является не реализуемой на практике задачей. По этой причине движение иона является ангармоническим.

Были теоретически рассчитаны и экспериментально измерены параметры устойчивости ловушки, глубина потенциала и секулярные частоты иона. Сопоставление теоретических и экспериментальных данных позволило охарактеризовать квадрупольную ловушку для оптического стандарта частоты на одиночном ионе иттербия.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, Чепуров С. В.

## **Определение спектральных и лазерных характеристик стронций – боратного стекла, активированного ионами иттербия**

Рыбак А. А.

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

В связи с развитием твердотельных лазеров и лазерных систем нового поколения с диодной накачкой, не прекращаются поиски новых, несмотря на большое количество уже известных и применяемых. Лазеры, в которых в качестве активной среды используются стекла, обладают рядом преимуществ по сравнению с лазерами на кристаллах: возможностью использования матриц больших размеров, что позволяет получать энергию в импульсе излучения вплоть до мегаджоульного уровня, а также, что немаловажно – низкой себестоимостью активных элементов.

В последнее время возник интерес к активированным боратным стеклам из-за структурных особенностей этих сред, благодаря которым при определенных условиях синтеза они могут частично кристаллизоваться и образовывать стеклокерамики. Спектроскопические свойства таких стекол в настоящее время активно исследуются для выявления наиболее перспективных активных сред.

В данной работе представлены результаты исследования спектральных и лазерных параметров тетрабората стронция  $\text{SrB}_4\text{O}_7$ , активированного иттербием, синтезированного в виде боратного стекла состава  $32\text{SrO}-65\text{B}_2\text{O}_3-3\text{Yb}_2\text{O}_3$ . Измерены плотность и дисперсия показателя преломления образцов стекла, сняты спектры поглощения и излучения при температурах жидкого азота и комнатной, рассчитаны концентрация ионов иттербия, сечения поглощения, излучения и усиления. Методом соответствия из низкотемпературных спектров определены штарковские уровни энергий основного –  $^4\text{F}_{7/2}$  и возбужденного состояний –  $^4\text{F}_{5/2}$  иона иттербия. Измерены люминесцентные времена жизни иона в возбужденном состоянии при комнатной температуре  $\tau_{300} = 770$  мкс и температуре жидкого азота  $\tau_{77} = 820$  мкс. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с данными по силикатным и фосфатным стеклам, активированным ионами иттербия.

Анализ показал, что стронций – боратное стекло, активированное ионами иттербия, обладает определенными преимуществами перед силикатными и фосфатными стеклами и может использоваться в качестве новой активной среды в лазерных системах с диодной накачкой.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Пестряков Е. В.

## Генерация когерентных структур из шума

Седов Е. В.

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

Изучение свойств когерентных и некогерентных сигналов играют важную роль в современных физических исследованиях и технических применениях. В нелинейной оптике распространение лазерного импульса в прозрачной диэлектрической среде описывается нелинейным уравнением Шрёдингера, которое допускает решения солитонного типа. Солитоны возникают как при когерентных, так и при некогерентных случайных входных сигналах. Количество и тип возникающих солитонных решений могут дать информацию о входном сигнале, что планируется использовать для создания нового типа приемников.

Одним из способов решения задачи Коши для нелинейных эволюционных уравнений является метод обратной задачи рассеяния, который является аналогом преобразования Фурье. Метод основан на связи нелинейного уравнения с данными рассеяния вспомогательных линейных дифференциальных операторов. Эволюция решения нелинейного уравнения восстанавливается по эволюции данных рассеяния следующим образом:

1. По заданному начальному условию находим данные рассеяния.
2. Находим эволюцию данных рассеяния.
3. По данным рассеяния восстанавливаем решение задачи Коши нелинейного уравнения.

Численная реализация метода обратной задачи рассеяния позволяет исследовать зависимость решения нелинейного уравнения Шрёдингера от начальных условий, в частности количество и тип солитонных решений. Алгоритм анализа решения состоит из нескольких этапов, на каждый из которых накладываются ограничения по быстродействию и объему используемой памяти.

В данной работе разрабатывается алгоритм для анализа решения нелинейного уравнения Шрёдингера и исследуется возможность применения данного алгоритма для создания нового типа приемника.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф.,  
чл.-корр. РАН Федорук М. П.

**Высокоэффективный Yb лазер с мощной накачкой**

Семенко А. В.

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

Для повышения точности метрологических, гравиметрических и навигационных систем разрабатываются прецизионные фемтосекундные синтезаторы частот (ФСЧ), стабилизированные по оптическим стандартам на ультрахолодных атомах и ионах. В настоящее время все ФСЧ непригодны для использования в мобильных системах, так как являются габаритными лабораторными установками с большим энергопотреблением и необходимостью постоянной подстройки. Задачей данной работы является создание и исследование компактного ФСЧ на основе фемтосекундного итербиевого лазера, который может служить основой для создания оптических часов, для метрологического обеспечения прецизионных систем и для широкого круга исследовательских задач в качестве доступного прецизионного лабораторного оборудования.

Проведены исследования компактного фемтосекундного Yb:KYW лазера в непрерывном режиме при накачке многомодовым источником. В качестве источника накачки использовался излучатель LIMO25-F100-DL980 с волоконным многомодовым выходом. Длина волны излучения накачки 980 нм, максимальная выходная мощность 25 Вт, диаметр сердцевины волокна 105 мкм, лазер имел круговую поляризацию. В качестве активной среды использовались кристалл Yb:KYW с весовой концентрацией Yb 10 % и толщиной 1,5 мм. Резонатор с несимметричной конфигурацией состоял из плоского дихроичного зеркала, сферического зеркала  $R=50$  мм, двух зеркал GTI (Gires-Tournois-Interferometer, зеркало для компенсации положительной дисперсии) и выходного зеркала с пропусканием  $T=3\%$ . Накачка фокусировалась линзой с фокусным расстоянием 22 мм. Получена генерация на длине волны 1040 нм (вертикальная поляризация), межмодовая частота  $>1$  ГГц. При мощности лазера накачки 5 Вт максимальная выходная мощность в непрерывном режиме составила 2,3 Вт при пороге 0,65 Вт, что составляет рекордный дифференциальный КПД  $\eta=53\%$  (полный оптический КПД  $\eta=46\%$ ).

В настоящее время ведутся работы по получению режима самосинхронизации мод с использованием зеркала SESAM (semiconductor saturable absorber mirror).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ № 16-02-00639 и гранта Президента РФ НИШ-6689.2016.2.

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

## **Обобщенный метод возбуждения резонанса когерентного пленения населённости с применением кольца обратной связи**

Стещенко Т. С., Андриюшков В. А., Попков И. Д.  
Новосибирский государственный университет

Резонанс когерентного пленения населённости (КПН) наблюдается в парах щелочных металлов и проявляется в виде узкого пика пропускания бихроматического лазерного излучения, пик которого достигается при разности частот компонент поля равного частоте перехода между подуровнями основного состояния атомов щелочного металла. Резонанс КПН лежит в основе работы миниатюрных атомных стандартов частоты и может быть использован при создании других современных прецизионных датчиков. Стабильность атомных стандартов частоты на основе резонанса КПН тем выше, чем больше величина контраста резонанса КПН (отношение амплитуды резонанса к постоянной составляющей мощности излучения, прошедшего через оптическую ячейку с парами щелочного металла внутри). Одним из направлений современных исследований резонанса КПН является разработка методов увеличения контраста резонанса КПН. Среди них выделяется относительно простой метод, основанный на контроле мощности излучения накачки посредством кольца обратной связи. Мощность излучения накачки изменяется таким образом, чтобы мощность излучения флюоресценции оставалась на постоянном уровне при сканировании резонанса КПН. Данный метод позволил увеличить контраст резонанса на два порядка [1]. Недостатками этого метода являются дополнительный вклад в постоянную часть сигнала внутреннего фотодетектора от излучения накачки, рассеянного на окнах оптической ячейки, и необходимость размещать фотодетектор в непосредственной близости к оптической ячейке.

В настоящей работе представлен обобщенный метод возбуждения резонанса КПН с применением кольца обратной связи, лишенный данных недостатков. В нем мощность излучения накачки контролируется кольцом обратной связи таким образом, чтобы неизменным оставалось значение некоторой функции мощностей излучения накачки и излучения, прошедшего через оптическую ячейку.

В результате применения в настоящей работе обобщенного метода возбуждения резонанса КПН величина контраста резонанса КПН была увеличена с 1 до 108 %.

---

1. Yudin V. I. et al. // Feedback spectroscopy of atomic resonances. // Phys. Rev. A. 2013. Vol. 87. I. 6. P. 063806.

Научный руководитель – Хрипунов С. А.

## Влияние условий накачки на интенсивность излучения эксимерных молекул ХеF\* в импульсном индукционном разряде

Ткаченко Р. А.

Новосибирский государственный университет

Проведено экспериментальное исследование зависимости интенсивности излучения эксимерных молекул ХеF\* в импульсном индукционном разряде от условий накачки. Использовалась схема формирования импульсного индукционного разряда цилиндрической формы и разработана соответствующая конструкция индукционного лазерного излучателя. Электрическая схема системы возбуждения была выполнена по типу схемы Блюмляйна и включала в себя две накопительные емкости  $C_1$  (7.8нФ) и  $C_2$  (13 нФ), заряжаемые до напряжения 26 – 30 кВ от импульсного источника АЛЕ-152. В качестве высоковольтного коммутатора использовался тиратрон серии ТПИ1-10к/50. Использовались керамические разрядные трубки длиной 800 мм с внешним и внутренним диаметром 40 мм и 34 мм соответственно, на которые помещался индуктор, составленный из нескольких секций, выполненных из многожильного провода ПВ-4 (сечением 6 мм<sup>2</sup>), включенных параллельно. Длина индуктора составляла 650 мм, эту же величину мы считали активной длиной. По торцам трубка герметизировалась плоскопараллельными пластинами из MgF<sub>2</sub>. Использовалось заднее диэлектрическое плотное зеркало (на длину волны 353 нм), переднее зеркало отсутствовало.

В качестве активной среды применялись двухкомпонентные газовые смеси состава Хе-Fe<sub>2</sub> и трехкомпонентные – Хе-Хе-F<sub>2</sub>. В экспериментах наибольшая интенсивность свечения молекул ХеF\* в двухкомпонентной смеси достигалась при соотношении компонент Хе-Fe<sub>2</sub> – 7:1. При разбавлении этой смеси буферным газом гелием до соотношения Хе:Хе:F<sub>2</sub> – 248:7:1, интенсивность излучения увеличивалась примерно в 2 раза. Анализ спектрального состава излучения показал, что при накачке двухкомпонентной смеси Хе-Fe<sub>2</sub> значительная доля энергии идет на возбуждение различных состояний атомов и ионов Хе (излучение в видимой области спектра). Добавление буферного газа приводило к снижению излучения в видимой области и к одновременному увеличению интенсивности свечения молекул ХеF\*. Мы считаем, что такое перераспределение интенсивностей свидетельствует об изменениях в кинетике протекания процессов, протекающих в плазме импульсного индукционного разряда.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Чуркин Д. С.

## Индукционный лазерный излучатель

Толмашова М. П.

Новосибирский государственный технический университет

В докладе сообщается о создании лазерного излучателя на основе индукционного разряда трансформаторного типа. Он представлял собой замкнутый разрядный контур и, в зависимости от конструкции, мог быть выполнен из трубок одного диаметра или включать в себя капилляр – тонкую трубку, являющуюся основной рабочей зоной генерации излучения и так называемый «обводной канал». Его диаметр больше диаметра капилляра; это было сделано для того, чтобы уменьшить полное сопротивление разрядного промежутка. Варьирование плотности тока и удельной мощности накачки осуществлялось подбором диаметра и длины капилляра.

Вдоль разрядной трубки с обеих сторон располагался индуктор. В литературе индукторы такого типа называются антеннами. Питание антенн осуществлялось от ВЧ-генератора – источника питания CESAR 2710 мощностью до 1 кВт (несущая частота 27,12 МГц) посредством устройства согласования WarioMatch фирмы Advanced Energy или от импульсной высоковольтной системы накачки.

Индукционный разряд трансформаторного типа впервые был предложен и экспериментально реализован для накачки активной среды  $N_2$  и  $CO_2$  лазеров. В первом случае использовался излучатель с капилляром длиной 25 см и диаметром 0,3 см. Резонатор был образован передней герметизирующей плоскопараллельной пластиной из  $CaF_2$  и заднего плотного зеркала на область 337,1 нм. Энергия генерации в таком излучателе достигала 0,2 мДж, с профилем пучка, близким к Гауссовому. Для накачки активной среды  $CO_2$  лазера использовалась трубка без капилляра, диаметром 10 или 20 мм. Резонатор был образован задним золотым зеркалом и передним диэлектрическим с коэффициентом отражения 50 %. В качестве активной среды использовался газ  $CO_2$ , а также его смеси с  $N_2$  и He в различных соотношениях. В первых экспериментах энергия генерации не превышала нескольких мДж. Анализ профиля пучка показал наличие многомодовой структуры излучения, что по нашему предположению, вызвано использованием плоских зеркал.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Чуркин Д. С.

## Прецизионная спектроскопия холодных атомов магния для оптического стандарта частоты

Тропников М. А.

Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск

Оптические стандарты частоты играют важную роль в фундаментальных исследованиях и различных приложениях метрологии и навигации. Главными кандидатами для создания стандартов частоты нового поколения являются атомы Mg, Ca, Sr, Yb и Hg. Mg имеет ряд преимуществ, например, тепловой сдвиг частоты его часового перехода на порядок меньше сдвигов Sr и Yb. Создание стандарта частоты возможно с использованием перехода  $^1S_0-^3P_1$  с длиной волны 457 нм, сильный замкнутый переход  $^1S_0-^1P_1$  позволяет эффективно охлаждать атомы и локализовать их в магнитооптической ловушке (МОЛ). После реализации субдоплеровского охлаждения будет возможна локализация атомов магния в оптической решетке, и использование для создания стандарта частоты с относительной погрешностью  $10^{-17}-10^{-18}$  перехода  $^1S_0-^3P_0$ . В данной работе представлен достигнутый прогресс в исследованиях по получению узких реперных резонансов на часовом переходе и стабилизации частоты излучения по этим резонансам с целью создания оптического стандарта частоты.

Спектроскопия часового перехода осуществляется титан-сапфировым лазером, генерирующим около 1 Вт излучения на длине волны 914 нм, с накачкой твердотельным лазером Verdi V18, двухступенчатой системой стабилизации частоты по опорным интерферометрам и удвоением частоты в нелинейном кристалле  $\text{KNbO}_3$  во внешнем резонаторе. Мощность излучения на длине волны 457 составляет 90 мВт. Исследование перехода  $^1S_0-^3P_1$  холодных атомов магния, локализованных в МОЛ, осуществлялось методом разнесенных во времени световых полей (Рамси-Бордэ спектроскопия). Были получены записи резонансов Рамси-Бордэ в разнесенных во времени световых полях при задержках между импульсами  $T = 7,5$  мкс и  $T = 58$  мкс. Также была осуществлена стабилизация частоты излучения лазерной системы по центральной полосе наблюдаемых резонансов и проведены предварительные исследования динамических характеристик стабилизации частоты излучения.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Гончаров А. Н.

**Электрическое поле в щели между проводящими плоскостями**

Туснин А. К.

Новосибирский государственный университет

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск

Изучение светоиндуцированных сил представляют интерес для современных технологий производства микро- и нанoeлектроники. Так как характерные величины возникающих сил порядка наноньютонов, исследования проводятся на специальных установках. Одной из таких систем является экспериментальная установка РТВ (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Германия), на которой проводятся измерения светоиндуцированной силы притяжения между двумя проводящими пластинами. Цель данной работы – аналитический расчёт поля в данной системе в случае перпендикулярного падения лазерного излучения на щель между плоскостями.

Решение задачи основывается на точном решении уравнений Максвелла. В ходе проделанной работы были обобщены результаты предыдущих работ по точному решению уравнений Максвелла в случае идеальных проводящих стенок на случай конечной проводимости. Было установлено, что для реальной системы возможно возбуждение только конечного количества собственных волноводных мод, которое определяется тремя параметрами: длиной волны падающего излучения, шириной щели и величиной диэлектрической проницаемости. Показано, что полный набор волновых мод из тригонометрических функций дополняется гиперболическими. Рассчитано поле в случае возбуждения двух первых волноводных мод (типа тригонометрического и гиперболического косинусов), что соответствует субволновой ширине щели; изучено соотношение коэффициентов при этих модах при различных значениях проницаемости; получено распределение поля в предельном случае идеального металла и показано, что оно соответствует известному решению, в котором учитывается возбуждение только первой “нулевой” моды.

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

## **Высокопроизводительный метод контроля качества поверхности цилиндрических изделий**

Уржумов В. В.

Новосибирский государственный технический университет

Тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ) и топливные таблетки (ТТ) являются важнейшими элементами тепловыделяющих сборок (ТВС) для атомных энергетических реакторов. При изготовлении таких элементов возможно возникновение характерных дефектов: царапин, вмятин, сколов, трещин и др. Для выявления дефектов реализуется сплошной контроль продукции. Раньше он осуществлялся визуально, но на сегодняшний день в производственный цикл ТВС внедряются автоматические опτικο-электронные системы контроля внешнего вида ТВЭЛ и ТТ. Принцип работы современных систем основан на контрастном методе выделения дефектов по изображению ТВЭЛ и ТТ, который не позволяет напрямую измерить глубину дефекта, что ограничивает достоверность контроля. Следовательно, актуально применение более надёжного контроля, определяющего 3D форму дефектов.

Метод светового сечения, используемый для контроля цилиндрических изделий, позволяет измерить глубину дефекта и предполагает формирование на поверхности контролируемого объекта сплошной световой дуги и регистрации её изображения с помощью камер. При этом приходится обрабатывать значительное количество данных, не несущих информацию об объекте, из-за чего производительность контроля весьма ограничена.

Для определения глубины дефектов ТВЭЛ и ТТ предпочтительней является модернизация метода светового сечения, при которой на цилиндрический объект под некоторым углом проецируется световая дуга особой формы так, что её изображение в камере представляет собой прямую линию. Такая форма сигнала позволяет значительно ускорить процесс обработки данных.

Проведённые экспериментальные исследования подтверждают реализуемость предложенного метода контроля. Полученные результаты измерения глубины дефектов на имитаторах ТВЭЛ и ТТ удовлетворяют требованиям автоматического контроля.

Научный руководитель – канд. техн. наук Завьялов П. С.

**Мощный импульсно-периодический ИК-лазер на электронных переходах нейтральных атомов Ar (аргона)**

Филонов А. А., Гушин А. С.

Новосибирский государственный технический университет

В современном мире использование лазерного ИК излучения важно и обширно. В докладе рассматривается класс ИК-лазеров, которые обладают свойством генерации группы длин волн, перестройка между которыми производится за счет изменения состава рабочей газовой смеси и параметров накачки, так называемый многоволновый режим работы. Лазерные линии генерации этих лазеров имеют узкую ширину, присущую атомарным переходам. Важным аспектом при работе с этими лазерами является состав рабочей газовой смеси. Газовые компоненты химически инертны, что упрощает производство и эксплуатацию данного лазера. Кроме того, данные лазерные источники имеют низкую стоимость эксплуатации. Так же одним из важнейших преимуществ является высокий ресурс одного наполнения рабочей газовой смесью (до  $10^9$  импульсов).

В данном докладе сообщается об экспериментальном исследовании выходных характеристик импульсно-периодического ИК-лазера на электронных переходах нейтральных атомов Ar. Представлены зависимости выходных характеристик лазерного излучения (энергия в импульсе излучения и спектральный состав) от параметров накачки (зарядное напряжение) и параметров рабочей газовой смеси (полное давление, соотношение компонентов рабочей газовой смеси). В предварительных экспериментах получена энергия в импульсе излучения более 10 мДж и предположительно новые спектральные линии лазерного излучения. Кроме этого, проведено исследование, направленное на оптимизацию геометрии разрядного промежутка для увеличения выходных энергетических характеристик и повышении эффективности (полного КПД). Обращая внимание на важность минимально возможного содержания примесей в составе рабочей смеси для данного класса лазеров, исследование проводилось с использованием Ar высокой чистоты (99,998 %) и He марки “Б” (99,99 %). Использование газообразных компонент более высокой чистоты, например аргона марки “5.5” (99.9995 %) должно способствовать улучшению выходных энергетических характеристик за счет уменьшения молекулярных примесей.

Научный руководитель – Каргапольцев Е. С.

## Самодифракция световых пучков при попутном взаимодействии в кристалле силиката висмута среза (110)

Шмидт А. А., Злобин А. О.

Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники

Ранее был обнаружен совместный вклад фотоупругого и обратного флексоэлектрического эффектов в фоторефрактивный отклик кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  (BSO) среза (110) при попутном распространении в нём световых волн [1]. В настоящем сообщении представлены результаты экспериментального исследования эффекта фазовой демодуляции в этом кристалле с целью оценки величины флексоэлектрического вклада, нахождения компонент флексоэлектрического тензора.

Методика эксперимента заключалась в получении сигнала голографического интерферометра при синусоидальной фазовой модуляции сигнальной волны и подборе коэффициентов связи  $\Gamma_e$ , выражающего вклад эффекта Поккельса, и  $\Gamma_f$ , выражающего совместный вклад флексоэлектрического и фотоупругого эффектов, по методу наименьших квадратов (рис.1).

Из рисунка 1 видно, что полученные значения коэффициентов связи удовлетворяют теоретическим в пределах допустимой погрешности.

Получено, что флексоэлектрическая константа  $f_{1111} \approx 17 \cdot 10^{-9}$  Кл/м.

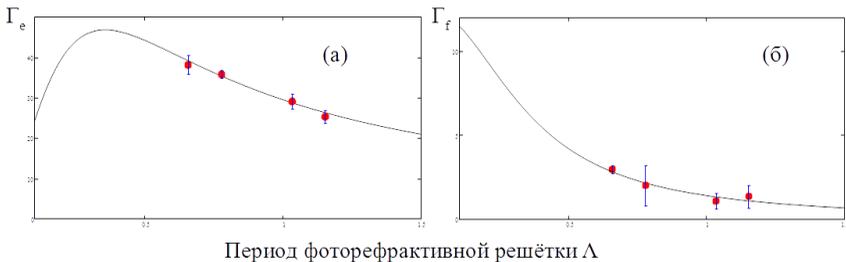


Рис. 1. Зависимость коэффициентов связи  $\Gamma_e$  (а) и  $\Gamma_f$  (б) от периода фоторефрактивной решетки.

1. Шмидт А. А., Злобин А. О. Фазовая демодуляция при попутном взаимодействии световых волн в кристаллах силленитов // Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2016: Квантовая физика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2016. С. 80.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. Шандаров С. М.,  
канд. техн. наук, доцент Буримов Н. И.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Андрюшков В. А. ....	32	Ляпунов Д. В. ....	22
Антропов А. А. ....	5	Макаров А. О. ....	23
Берёза А. С. ....	6	Мерещук А. В. ....	24
Бударных А. Е. ....	7	Осокин В. Б. ....	25
Булгакова В. В. ....	8	Плешков А. С. ....	20
Витухин Л. Ю. ....	9	Познахарев Е. С. ....	26
Воликова А. М. ....	10	Понарина М. В. ....	27
Гервазиев М. Д. ....	11	Попков И. Д. ....	32
Гурьев Д. А. ....	12	Румынин К. М. ....	28
Гущин А. С. ....	13, 38	Рыбак А. А. ....	29
Дробышев Р. В. ....	14	Седов Е. В. ....	30
Епланов Д. О. ....	15	Семенко А. В. ....	31
Ефремов В. Д. ....	16	Стещенко Т. С. ....	32
Злобин А. О. ....	39	Ткаченко Р. А. ....	33
Иванова К. А. ....	17	Толмашова М. П. ....	34
Казиева Т. В. ....	27	Тропников М. А. ....	35
Карпегина Ю. А. ....	18	Туснин А. К. ....	36
Коваленко Д. В. ....	19	Уржумов В. В. ....	37
Коляко А. В. ....	20	Филонов А. А. ....	13, 38
Купцов Г. В. ....	21	Шмидт А. А. ....	39

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Антропов А. А. ....	5
Берёза А. С. ....	6
Бударных А. Е. ....	7
Булгакова В. В. ....	8
Витухин Л. Ю. ....	9
Воликова А. М. ....	10
Гервазиев М. Д. ....	11
Гурьев Д. А. ....	12
Гущин А. С., Филонов А. А. ....	13
Дробышев Р. В. ....	14
Епланов Д. О. ....	15
Ефремов В. Д. ....	16
Иванова К. А. ....	17
Карпегина Ю. А. ....	18
Коваленко Д. В. ....	19
Коляко А. В., Плешков А. С. ....	20
Купцов Г. В. ....	21
Ляпунов Д. В. ....	22
Макаров А. О. ....	23
Мерещук А. В. ....	24
Осокин В. Б. ....	25
Познахарев Е. С. ....	26
Понарина М. В., Казиева Т. В. ....	27
Румынин К. М. ....	28
Рыбак А. А. ....	29
Седов Е. В. ....	30
Семенко А. В. ....	31
Стещенко Т. С., Андрюшков В. А., Попков И. Д. ....	32
Ткаченко Р. А. ....	33
Толмашова М. П. ....	34
Тропников М. А. ....	35
Туснин А. К. ....	36
Уржумов В. В. ....	37
Филонов А. А., Гущин А. С. ....	38
Шмидт А. А., Злобин А. О. ....	39
<b>АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ</b> .....	<b>40</b>
<b>ОГЛАВЛЕНИЕ</b> .....	<b>41</b>

МАТЕРИАЛЫ  
55-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

МНСК–2017

ФОТОНИКА И КВАНТОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Материалы конференции публикуются в авторской редакции*

---

Подписано в печать 31.03.2017

Офсетная печать

Заказ № \_\_\_\_\_

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 8,6. Усл. печ. л. 10,6.

Тираж 140 экз.

---

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