

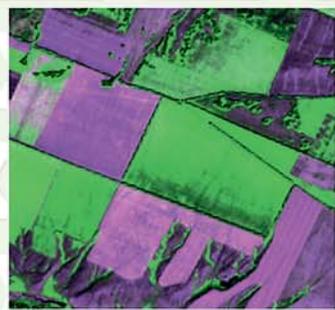
ФАНО России

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Сибирское отделение Российской академии наук



Институт автоматизации
и электростроения

в 2015 году



Новосибирск

ФАНО РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
в 2015 году

Отчет о деятельности

НОВОСИБИРСК

2016

УДК 535 + 538,9 + 539,1 + 621,391 + 681,3 + 681,5 + 681,7

Печатается по решению Ученого совета
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки
Института автоматики и электрометрии
Сибирского отделения Российской Академии наук

Ответственный за выпуск
доктор технических наук Михляев С.В.

ISBN 978-5-7692-1492-9

© ИАиЭ СО РАН, 2016

Новосибирск

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2015 ГОДУ	6
2. НАПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ АКАДЕМИЙ НАУК НА 2013–2020 ГОДЫ	15
3. РФФИ, РФФИ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ	124
4. РАЗРАБОТКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ	127
5. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	145
5.1. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН	145
5.2. СТРУКТУРА НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ	146
5.3. РАБОТА УЧЕНОГО СОВЕТА	148
5.4. РОСТ И ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ КАДРОВ. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ	149
5.5. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ	153
5.6. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ	156
5.7. ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	161
5.8. УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКАХ. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННО-РЕКЛАМНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	161
5.9. НАГРАДЫ	172
6. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН В 2015 г	175

ВВЕДЕНИЕ

Научные исследования в 2015 году выполнялись в соответствии с уставными направлениями Института (актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе физические процессы в газах и конденсированных средах, индуцированные излучением, нелинейные явления при взаимодействии излучения со структурированными материалами, новые спектральные диапазоны и режимы генерации излучения; фундаментальные основы лазерных и оптических технологий, включая обработку и модификацию материалов, информатику, формирование микро- и наноструктур, диагностику, прецизионные измерения; архитектура, системные решения, математические модели и программно-алгоритмическое обеспечение информационно-вычислительных комплексов восприятия, анализа, отображения информации и систем управления сложными динамическими процессами) по темам и проектам госзадания ИАиЭ СО РАН на 2015 год в соответствии с Планом НИР Института и разделами «Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы»:

- Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости.
- Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом.
- Когнитивные системы и технологии, нейроинформатика и биоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект, системы распознавания образов, принятие решений при многих критериях.
- Системы автоматизации, CALS-технологии, математические модели и методы исследования сложных управляющих систем и процессов.

Всего по этим направлениям выполнялось 10 базовых тем госзадания.

Ученые Института в 2015 г. выполнили два проекта РНФ и 21 проект по грантам РФФИ, а также большое количество договоров с российскими и зарубежными организациями.

В 2015 г. выполнялись работы в рамках грантов Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ (НШ-4447.2014.2) и молодых российских ученых (МК-228.2014.2). Сотрудниками Института получены 4 стипендии Президента РФ (две – для ученых-исполнителей оборонного заказа, две – для проведения научных исследований), а также две стипендии Правительства РФ.

Ученым советом Института признаны наиболее важными следующие результаты, полученные в 2015 г.:

- Одночастотный волоконный лазер с самосканированием частоты (*Лаборатория волоконной оптики и Тематическая группа нелинейной оптики*);
- Разработка технологии точной лазерной микрообработки стеклянных, кристаллических, полимерных и композитных заготовок изделий оптико-механической промышленности (*Лаборатория лазерной графики*);
- Нелинейная кинетика волоконного лазера со случайной распределенной обратной связью (*Лаборатория волоконной оптики и Тематическая группа нелинейной оптики*);
- Спектрально-пространственная классификация гиперспектральных изображений земной поверхности (*Лаборатория информационной оптики*);
- Высокочувствительный быстродействующий оптический хемосенсор на основе полного внутреннего отражения света на границе стекло – кремнеземный фотонный кристалл (*Лаборатория физики лазеров*);
- Способ измерения параметров движения диффузно рассеивающих объектов и принципы построения соответствующего лидара (*Тематическая группа лазерных информационно-измерительных систем*).

По итогам участия в конкурсах инновационных проектов в рамках XXI Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)» (*Санкт-Петербург*) Институт награжден:

- **Золотой медалью и Дипломом I степени** за проект «Оптоволоконные лазеры видимого диапазона для применений в аналитическом биомедицинском оборудовании»;
- **Серебряными медалями и Дипломами II степени** за проекты «Базовая платформа для создания технологического оборудования фотоники субмикронного разрешения» и «Система для измерений и контроля качества изделий микро- оптики, механики и электроники»;
- **Дипломом** за проект «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами» (*Лаборатория нечетких технологий*).

Отчет подготовлен на основе материалов, представленных научными лабораториями, планово-финансовыми и другими подразделениями и службами Института. В нем изложены наиболее важные научные и научно-технические результаты, полученные при выполнении исследований в 2015 г. Кратко изложены основные направления проводившейся в Институте научно-организационной деятельности, приведены общие показатели и список публикаций сотрудников Института.

1. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2015 ГОДУ

В 2015 г. Ученым Советом ИАиЭ СО РАН признаны важнейшими 6 результатов.

1.1. Одночастотный волоконный лазер с самосканированием частоты

Self-sweeping single-frequency fiber laser

Авторы: Лобач И.А., Подивилов Е.В., Каблуков С.И., Бабин С.А.

Authors: Lobach I.A., Podivilov E.V., Kablukov S.I., Babin S.A.

Продемонстрирован волоконный лазер с перестройкой частоты на новых физических принципах. Формирование в активной среде полей стоячей волны динамических пространственных решеток усиления и показателя преломления приводит к генерации последовательности эквидистантных по времени и частоте импульсов. При этом каждый импульс имеет спектральную ширину <1 МГц и связан по фазе с предыдущим. Доказана возможность практического применения такого источника для опроса волоконных датчиков на брэгговских решётках и для получения коротких импульсов с помощью когерентного сложения мод. Дополнительные преимущества дает максимально простая и надежная схема лазера (рис. 1.1).

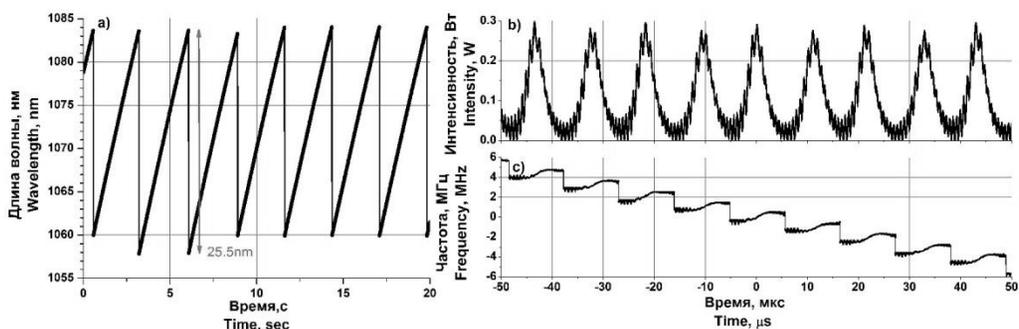


Рис. 1.1. Долговременная динамика длины волны (a), динамика интенсивности (b) и соответствующая мгновенная динамика частоты генерации (c) в одночастотном волоконном лазере с самосканированием частоты

Fig. 1.1. Long-term wavelength dynamics (a), intensity dynamics (b), and corresponding instantaneous frequency dynamics (c) in a self-sweeping single-frequency fiber laser

A fiber laser with frequency tuning based on new physical principles is demonstrated. The formation of dynamic spatial gain and refractive index gratings in an active medium by a standing wave field leads to the generation of a sequence of pulses equally spaced in time and in the frequency domain. Each pulse has a spectral width of less than 1 MHz and has the same phase as the previous one. The possibility of practical applications of the source for interro-

gation of fiber sensors based on the Bragg gratings and for synthesis of short pulses by coherent combining of the sequence is proved. Simplicity and robustness are additional benefits of the laser (Fig. 1.1).

Публикации:

1. Lobach I.A. et al. Self-scanned single-frequency operation of a fiber laser driven by a self-induced phase grating // *Laser Phys. Lett.*, 2014, v.11, № 4. P. 045103.
2. Lobach I.A. et al. Single-frequency Bismuth-doped fiber laser with quasi-continuous self-sweeping // *Opt. Express*, 2015, v. 23. P. 24833–24842.
3. Lobach I.A. et al. Fourier synthesis with single-mode pulses from a multimode laser // *Opt. Lett.*, 2015, v. 40. P. 3671–3674.
4. Lobach I.A., Kablukov S.I. Application of a self-sweeping Yb-doped fiber laser for high-resolution characterization of phase-shifted FBGs // *J. Lightwave Technol.*, 2013, v. 31, № 18. P. 2982–2987.

1.2. Разработка технологии точной лазерной микрообработки стеклянных, кристаллических, полимерных и композитных заготовок изделий оптико-механической промышленности

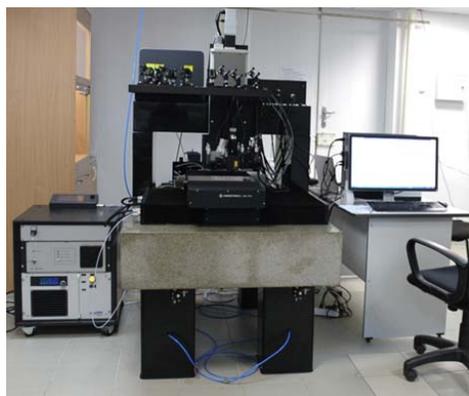
Development of the technology for precise laser micromachining of glass, crystal, polymer, and composite workpieces for opto-mechanical industry

Авторы: Бессмельцев В.П., Баев С.Г., Булушев Е.Д., Голошевский Н.В., Горяев Е.П., Смирнов К.К., Достовалов А.В.

Authors: Bessmeltsev V.P., Baev S.G., Bulushev E.D., Goloshevsky N.V., Gorjaev E.P., Smirnov K.K., Dostovalov A.V.

Разработаны новые технологии лазерной высокопроизводительной микрообработки, создан и прошел заводские испытания лазерный технологический комплекс для прецизионного формирования с субмикронным разрешением топологии оптических шкал и сеток методами прямой фемтосекундной лазерной записи, как на поверхности, так и внутри изделий из стекла и оптических кристаллов, формирования тонких металлических масок сложной формы (рис. 1.2, *a*). Комплекс содержит профилометрическую систему контроля с нанометровым разрешением (рис. 1.2, *b*). Образцы изделий, созданные по разработанным технологиям, установлены в оптико-электронные системы нового поколения, выпускающиеся холдингом «Швабе».

New technologies for high-performance laser micromachining were developed. The laser technological complex for precision forming of optical reticles with submicron resolution was created and successfully passed industrial testing (Fig. 1.2, *a*). Direct femtosecond laser radiation is applied to fabricate microchannels and modify glass and optical crystals both on the surface and inside them; moreover, the technology was used to create complex thin metal masks. The system contains an optical profilometer for automated inspection with nanometer resolution (Fig. 1.2, *b*). Fabricated workpieces are installed in opto-electronic systems of new generation, produces by the holding company "Schwabe".



a



b

Рис. 1.2. *a* – лазерная технологическая рабочая станция на основе мощного фемтосекундного лазера (разрешение по XYZ – 50 нм, зона обработки 200×200×150 мм); *b* – профилометр на основе хроматического конфокального сенсора (разрешение по Z – 10 нм; по X, Y – 0.8 мкм)

Fig. 1.2. Laser technology workstation (*a*) on the basis of a high-power femtosecond laser (XYZ resolution 50 nm, 200×200×150 mm processing zone); Profilometer (*b*) on the basis of a chromatic confocal sensor (Z resolution 10 nm, X and Y resolution 0.8 mm)

Публикации:

1. Бессмельцев, В.П., Булушев Е.Д. Оптимизация режимов лазерной микрообработки (обзор) // Автометрия, 2014, т. 50, № 6. С. 3–21.
2. Бессмельцев В.П., Достовалов А.В. Лазерные технологии формирования сеток // Контенант, 2015, т. 14, № 1. С. 28–32.
3. Дьякова И.И., Леянов А.Б., Бабин С.А., Бессмельцев В.П., Достовалов А.В. Технология нанесения сеток методом прожигания лазером, заполнения запуском, нанесения рисунка на металлическом покрытии и исследование повреждений стеклянной подложки // Там же. С. 92–94.
4. Бессмельцев В.П., Полещук А.Г., Корольков В.П., Никаноров Ю.Н., Карван, А.Л., Верхогляд А.Г. Прецизионный лазерный технологический комплекс для производства шкал, сеток, фотошаблонов и синтезированных голограмм на основе лазерной трехмерной микро- и нанообработки // XII Международная конференция «Голография, Наука и практика», «ГолоЭкспо–2015» (г. Казань, Россия, 12–15 октября 2015). Сборник трудов. С. 38–43.
5. Булушев Е.Д., Шоев С.А. Программа для контроля качества прецизионной лазерной микрообработки оптических элементов (формирования сеток, масок, шкал) Profilometer С А18 // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015616114, зарег. 29.05.2015.

1.3. Нелинейная кинетика волоконного лазера со случайной распределенной обратной связью

Nonlinear kinetics of fiber lasers with random distributed feedback

Авторы: Подивилов Е.В.^{1,2}, Ватник И.Д.^{1,2}, Никулин М.А.¹, Бабин С.А.^{1,2};
 Колоколов И.В.^{3,4}, Вергелес С.С.^{3,4}, Лебедев В.В.^{3,4};
 Чуркин Д.В.^{1,2,5}, Терехов И.С.^{2,6}, Фалькович Г.^{7,8}, Турицын С.К.^{2,5}

Authors: Podivilov E.V.^{1,2}, Vatnik I.D.^{1,2}, Nikulin M.A.¹, Babin S.A.^{1,2};
 Kolokolov I.V.^{3,4}, Vergeles S.S.^{3,4}, Lebedev V.V.^{3,4}; Churkin D.V.^{1,2,5},
 Terekhov I.S.^{2,6}, Falkovich G.^{7,8}, Turitsyn S.K.^{2,5}

- 1 – ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск (IA&E SB RAS, Novosibirsk);
 2 – НГУ, г. Новосибирск (NSU, Novosibirsk);
 3 – ИТФ им. Ландау, г. Черноголовка (Landau ITP, Moscow);
 4 – МФТИ, г. Долгопрудный (Moscow Phys. Tech. Institute);
 5 – Aston University, Birmingham, UK;
 6 – ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск (Budker INP SB RAS, Novosibirsk);
 7 – Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel;
 8 – ИППИ РАН, Москва (Kharkevich IITP RAS, Moscow).

Разработана нелинейная кинетика волновой турбулентности открытых циклических систем (рис. 1.3, *a*), в которых корреляционные функции волновых полей сильно изменяются внутри каждого цикла. Модель применена для описания спектра генерации волоконного ВКР-лазера со случайной распределенной обратной связью. Полученное решение сшивается с линейной кинетикой Шавлова–Таунса и описывает эксперимент (рис. 1.3, *b*). Предложенный подход может использоваться для описания свойств волновой турбулентности в многомодовых лазерах, длинных оптоволоконных линиях и других циклических системах.

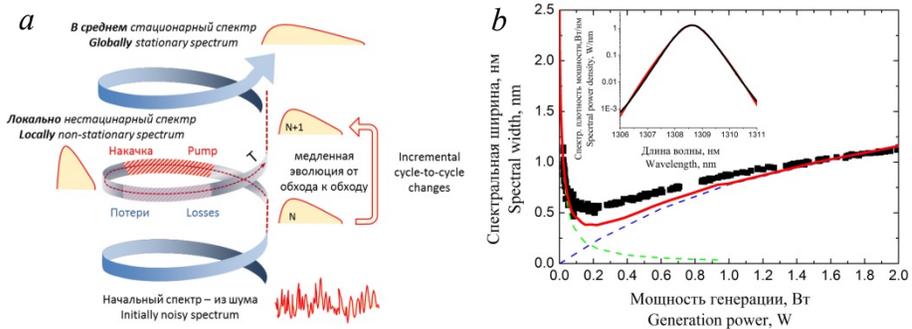


Рис. 1.3. *a* – открытая циклическая система; *b* – ширина и форма (вставка) спектра генерации волоконного ВКР-лазера со случайной распределенной обратной связью. Эксперимент (черн.) и теория (красн.) с линейным (зел. штрихи) и нелинейным (син. штрихи) вкладом соответственно

Fig.1.3: *a* – open cyclic system; *b* – line width and shape (inset) of the generation spectrum in Raman fiber lasers with random distributed feedback. Experiment (black) and theory (red) with linear (green dashes) and nonlinear (blue dashes) contributions, respectively

Nonlinear kinetics of wave turbulence in open cyclic systems (Fig. 1.3, *a*) is developed, where the correlation functions of the wave fields change significantly within each cycle. The model has been applied for the description of generation spectra in Raman fiber lasers with random distributed feedback. The obtained solution converges with the Shawlow-Towns' linear kinetics and describes the experiment (Fig. 1.3, *b*). The proposed approach can be used to describe the wave turbulence behavior in multimode lasers, long-fiber optic links, and other cyclic systems.

Публикации:

1. Kolokolov V., Lebedev V.V., Podivilov E.V., Vergeles S.S. Theory of a random fiber laser // ЖЭТФ, 2014, т. 146. P. 1295–1300.
2. Churkin D.V., Kolokolov I.V., Podivilov E.V., Vatik I.D., Nikulin M.A., Vergeles S.S., Terekhov I.S., Lebedev V.V., Falkovich G., Babin S.A. and Turitsyn S.K. Wave kinetics of random fibre lasers // Nature Comm., 2015, № 2. P. 6214 (6 p.).
3. Churkin D.V., Sugavanam S., Vatik I.D., Wang Z., Podivilov E.V., Babin S.A., Rao Y.J., Turitsyn S.K. Recent advances in fundamentals and applications of random fiber lasers // Advances in Optics and Photonics, 2015, v. 7, № 3. P. 516–569.

1.4. Спектрально-пространственная классификация гиперспектральных изображений земной поверхности

Spectral-spatial classification of hyperspectral remote sensing images

Авторы: Борзов С.М.¹, Пестунов И.А.², Потатуркин О.И.¹, Федотов А.М.²

Authors: Borzov S.M.¹, Pestunov I.A.², Potaturkin O.I.¹, Fedotov A.M.²

1 – ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск (IA&E SB RAS, Novosibirsk);

2 – ИВТ СО РАН, г. Новосибирск (ICT SB RAS, Novosibirsk).

Показано, что при обработке данных дистанционного зондирования Земли для повышения эффективности классификации гиперспектральных (ГС) изображений природных и антропогенных территорий необходимо не только сравнение тестируемых и эталонных спектров пикселей, но и учет распределения обучающей выборки в пространстве признаков. При этом существенное сокращение количества признаков с помощью преобразования главных компонент (с 200 до 10–20) не снижает эффективности классификации. Установлено, что использование дополнительной информации о коррелированности внутри сегментов ГС изображений позволяет уменьшить количество ложно классифицированных пикселей более чем в 2 раза (рис. 1.4).

In processing remote sensing data, enhancement of the efficiency of hyperspectral image classification of natural and anthropogeneous territories requires not only a comparison of tested and reference spectra of pixels, but also taking into account the training sample distribution in the feature space. Thus, essential reduction of the number of features with the help of the principal component analysis (from 200 down to 10–20) does not reduce the classification efficiency. It is established that the use of additional information about

correlations inside segments of images allows one to reduce the amount of false classified pixels by more than twice (Fig. 1.4).

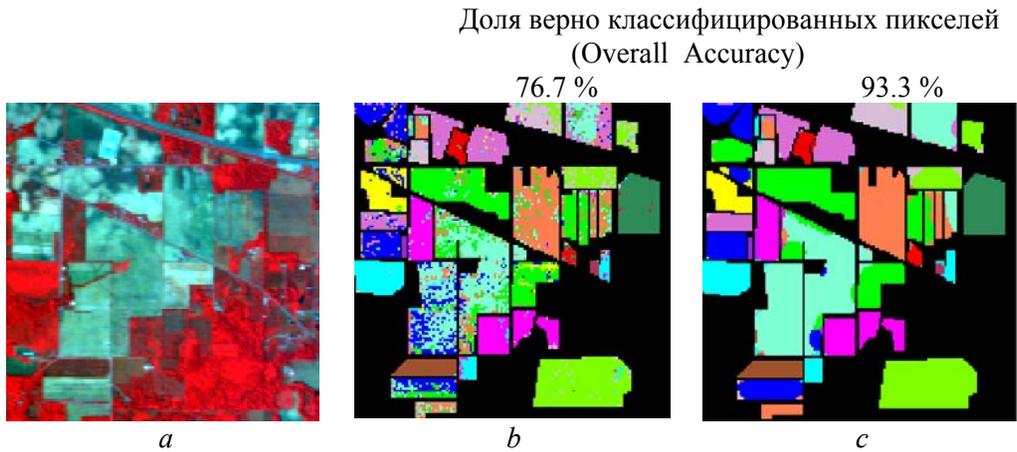


Рис. 1.4. Классификация растительного покрова:
a – исходный фрагмент; *b* – спектральная классификация;
c – спектрально-пространственная классификация

Fig. 1.4. Vegetative classification: *a* – initial fragment;
b – spectral classification; *c* – spectral-spatial classification

Публикации:

1. Потатуркин О.И., Борзов С.М., Потатуркин А.О., Узилов С.Б. Методы и технологии обработки мультиспектральных и гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли высокого разрешения // Вычислительные технологии ИВТ СО РАН, 2013, т. 18. Специальный выпуск. С. 53–60.
2. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Классификация типов растительного покрова по гиперспектральным данным дистанционного зондирования Земли // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии, 2014, № 4. С. 13–22.
3. Борзов С.М., Потатуркин А.О., Потатуркин О.И., Федотов А.М. Исследование эффективности классификации гиперспектральных спутниковых изображений природных и антропогенных территорий // Автометрия, 2016, №1. С. 3–14.
4. Пестунов И.А., Мельников П.В. Блочный метод главных компонент для выделения информативных признаков при классификации гиперспектральных изображений // Журнал Сибирского фед. ун-та. Сер.: Техника и технологии. Красноярск: СФУ, 2015, т. 8, № 6. С. 715–725.
5. Потатуркин О.И., Борзов С.М. Обработка гиперспектральных спутниковых изображений при исследовании антропогенных и природных объектов // Тезисы докладов XV Российской конференции с международным участием «Распределенные информационные и вычислительные ресурсы» (DICR–2014) (г. Новосибирск, Россия, 2–5 декабря 2014), 2014. С. 27–28.
6. Борзов С.М., Потатуркин А.О. Спектрально-пространственная классификация типов подстилающей поверхности по гиперспектральным данным // XI Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». Сб. материалов в 2 т., т. 2. Новосибирск: СГУГиТ, 2015. С. 13–17.
7. Борзов С.М., Пестунов И.А., Потатуркин О.И. Тематическая обработка гиперспектральных изображений при исследовании природных и антропогенных объектов // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропо-

- генных процессов [Электронный ресурс]: Труды всероссийской конференции (с. Усть-Сема, Республика Алтай, 24–28 августа 2015). С. 8–15.
8. Потатуркин О.И., Борзов С.М. Спектрально-пространственная классификация типов подстилающей поверхности по гиперспектральным данным дистанционного зондирования Земли // Abstracts of the International Conference “Computational and Informational Technologies in Science, Engineering and Education” “CITech-2015” (Almaty, Kazakhstan, September 24–27, 2015). Almaty: Казак университети, 2015. С. 22.
 9. Борзов С.М., Пестунов И.А., Потатуркин О.И. Методы и технологии обработки гиперспектральных данных для мониторинга природной среды // XIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 55-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева «Решетневские чтения» (г. Красноярск, Россия, 10–14 ноября 2015). В 2 ч. Красноярск: Сибирский государственный аэрокосмический университет, 2015, ч. 1. С. 304–306.

1.5. Высокочувствительный быстродействующий оптический хемосенсор на основе полного внутреннего отражения света на границе стекло-кремнеземный фотонный кристалл

Highly sensitive and fast response gas sensor based on light reflection at the glass – photonic crystal interface

Авторы: Кучьянов А.С., Плеханов А.И., Чубаков П.А.

Authors: Kuchyanov A.S., Plekhanov A.I., Chubakov P.A.

Предложен и реализован быстродействующий дешевый оптический хемосенсор на основе полного внутреннего отражения света на границе стекло – кремнеземный фотонный кристалл. Он состоит из чувствительной кремнеземной пленки фотонного кристалла, используемой в качестве эталона Фабри–Перо, нанесенной на стеклянную призму (рис. 1.5, *a*). Сенсорные свойства основаны на эффекте капиллярной конденсации паров аммиака на микросферах фотонного кристалла, приводящей к изменению толщины пленки.

Предложенная схема максимально повышает резкость интерференционной картины и, следовательно, чувствительность сенсора (рис. 1.5, *b*). Чувствительность такого сенсора составляет 1 молекулу на миллион при времени отклика 100 мс.

We develop a versatile gas sensor based on the condition of the total internal reflection at the glass-photonic crystal interface and a corresponding detection scheme for rapid and precise measurement of vapors. The sensor consists of a vapor-sensitive photonic crystal film as a Fabry–Perot etalon deposited on a solid substrate (e.g., large face of a glass prism or glass slide) (Fig. 1.5, *a*). This arrangement maximizes the Fabry-Perot accuracy and, hence, the sensitivity of the sensor (Fig. 1.5, *b*). Such a scheme and specific physicochemical properties of submicron silica particles provide photonic crystal sensor selectivity due to capillary condensation of ammonia vapor with a sensitivity of 1 ppm with a response time of 100 ms.

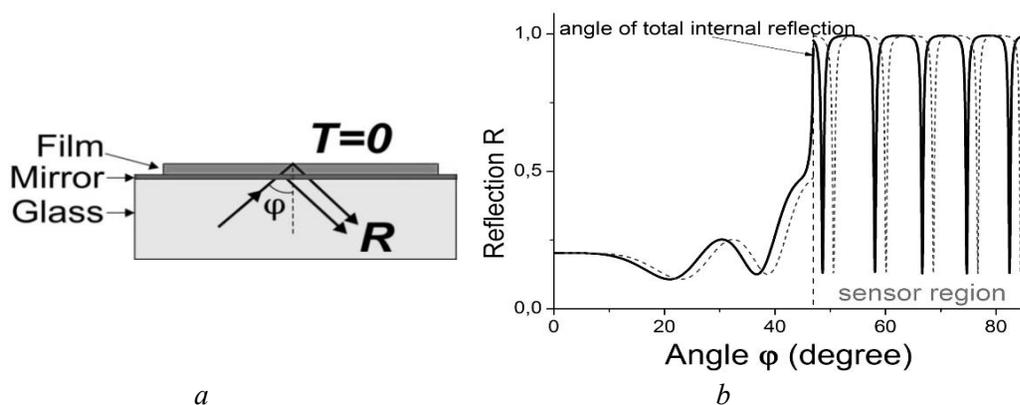


Рис. 1.5. *a* – оптическая схема; *b* – зависимость коэффициента отражения света внутри пленки от угла падения до воздействия аналита (сплошная кривая) и после воздействия с концентрацией 1 ppm (пунктирная кривая)

Fig. 1.5. *a* – optical scheme, *b* – reflectance of light within the film versus the angle of incidence before (solid curve) and after (dashed curve) exposure of the analyte. The analyte concentration is 1 ppm

Публикации:

1. Kuchyanov A.S., Chubakov P.A., Plekhanov A.I. Highly sensitive and fast response gas sensor based on a light reflection at the glass-photonic crystal interface // Optics Communications, 2015, v. 351. Article number 20096. P. 109–114.

1.6. Способ измерения параметров движения диффузно рассеивающих объектов и принципы построения соответствующего лидара

Method of measurement of diffuse scattering objects parameters and principles of the proper lidar construction

Авторы: Соболев В.С., Титков В.И., Уткин Е.Н., Кащеева Н.А., Щербаченко А.М.

Authors: Sobolev V.S., Titkov V.I., Utkin E.N., Kashcheeva G.A., Shcherbachenko A.M.

На основе известных закономерностей оптического эффекта Доплера разработан и экспериментально апробирован способ бесконтактного измерения параметров движения диффузно рассеивающих объектов и принцип построения соответствующего лидара. В основе способа лежит регистрация доплеровского сдвига частоты сигнала гармонической модуляции зондирующего излучения лазера. Прием рассеянного света осуществляется фотодетектором без применения методов интерферометрии, а оценка параметров движения производится путем обработки каждой пары последовательных комплексных отсчетов сигнала фотодетектора. Функциональная схема макета лидара представлена на рис. 1.6.

On the basis of the well-known laws of the optical Doppler effect, a method of non-contact measurement of motion parameters of diffusely scattering objects and principles of the respective lidar construction are developed and tested. The method is based on registration of the Doppler frequency shift of the probing laser harmonic modulation signal. The reception of the scattered light is carried out by a photodetector without the use of interferometry techniques, and the motion parameters are estimated by processing each pair of successive complex signal samples of the photodetector. Functional diagram the lidar layout is presente on the Fig. 1.6.

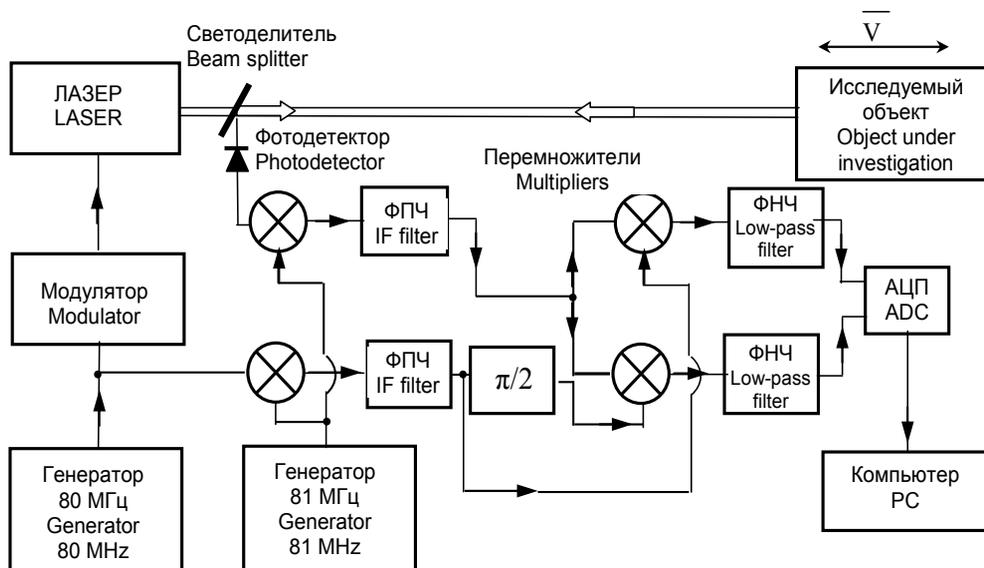


Рис. 1.6. Функциональная схема макета лидара

Fig. 1.6. Functional diagram the lidar layout

Публикации:

1. Соболев В.С., Уткин Е.Н., Кашеева Г.А., Журавель Ф.А., Щербаченко А.М. Доплеровское смещение частоты модуляции лазерного излучения, рассеянного движущимся объектом // Оптика и спектроскопия, 2015, № 2. С. 307–311.
2. Соболев В.С., Уткин Е.Н., Щербаченко А.М. Бесконтактная методика измерения параметров движения диффузно рассеивающих объектов на основе модуляции зондирующего лазерного излучения // Труды X международного конгресса «ИНТЕРЭКС-ПО ГЕО-СИБИРЬ 2014», «Сибоптика – 2014», т. 1. С. 177–182.
3. Титков В.И., Соболев В.С., Уткин Е.Н. Способ определения скорости и определения ветра и некогерентный доплеровский лидар. Патент на изобретение № 2545498 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2015, № 10.
4. Щербаченко А.М., Соболев В.С. Устройство преобразования сигналов интерферометра для высокоточных измерителей перемещений. Патент на полезную модель № 151073 // Там же, № 8.

2. НАПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ АКАДЕМИЙ НАУК НА 2013–2020 ГОДЫ

НАПРАВЛЕНИЕ II.8. Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости.

ПРОГРАММА II.8.3. Характеризация и свойства твердотельных наноструктур. Координатор чл.-корр. РАН А.В. Латышев.

Проект II.8.3.4. Оптические методы исследования и формирования твердотельных наноструктур с целью создания компонентов оптоэлектронных систем. № гос. рег. 01201366866.

Исполнители проекта:

Лаборатория информационной оптики (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Анцыгин В.Д.).

Лаборатория дифракционной оптики (ответственные исполнители: д.т.н. Корольков В.П., к.т.н. Ленкова Г.А., к.т.н. Седухин А.Г., к.т.н. Насыров Р.К.).

Лаборатория лазерной графики (ответственный исполнитель к.т.н. Бесмельцев В.П.).

Тематическая группа многоканальных анализаторов оптического и рентгеновского излучений (ответственный исполнитель к.т.н. Вьюхин В.Н.).

Тематическая группа лазерной гравиметрии (ответственный исполнитель к.т.н. Стусь Ю.Ф.).

Научный руководитель д.т.н. **Потатуркин О.И.**

Разработка и создание программно-аппаратных средств исследования материалов, включая решение обратной задачи по восстановлению свойств исследуемых объектов, для системы нестационарной ТГц спектроскопии. Экспериментальное исследование функциональных возможностей установки нестационарной ТГц спектроскопии на базе титан-сапфирового лазера с многопроходным усилителем (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Анцыгин В.Д.).

Разработано и создано программно-аппаратное обеспечение для управления системой нестационарной терагерцовой (ТГц) спектроскопии на основе титан-сапфирового лазера с многопроходным усилителем. К двум каналам системы стационарной ТГц спектроскопии, терагерцовому зондирующему и лазерному считывающему добавлен третий – импульсный для предварительного возбуждения исследуемых образцов. Реализовано два режима сканирования. Первый расширяет стационарную спектроскопию, т. е. в разные моменты после возбуждающего импульса сканируется зондирующий терагерцовый импульс. Во втором режиме фиксируется оптическая задержка между возбуждающим и считывающим

импульсами и меняется их общая задержка относительно зондирующего ТГц импульса. Разработаны и созданы программные модули восстановления параметров исследуемых образцов, которые позволяют изучать их терагерцовый отклик в различные моменты после возбуждения. Для расчетов используется квазистационарное приближение, при котором предполагается, что свойства исследуемых материалов меняются медленнее, чем время взаимодействия с зондирующим ТГц импульсом.

Экспериментально определены основные функциональные возможности системы нестационарной ТГц спектроскопии на базе титан-сапфирового лазера с многопроходным усилителем. Достигнуты следующие характеристики излучения: при центральной длине волны 807 нм ширина спектра составляет ~ 52 нм, длительность импульса – 37.5 фс и энергия в импульсе – 1.8 мДж. Достигнут коэффициент преобразования излучения во вторую гармонику ~ 0.17 в кристалле бета-бората бария (β -BaV₂O₄) толщиной ~ 170 мкм (рис. 2.1), что свидетельствует о высоком качестве генерируемого лазерного импульса. Это позволяет эффективно осуществлять в данной системе такие нелинейно-оптические преобразования, как генерация гармоник и генерация ТГц излучения. Показано, что терагерцовый диапазон созданной системы нестационарной спектроскопии ограничен 26 ТГц, временное разрешение каналов предварительного возбуждения и регистрации – длительностью лазерного импульса ~ 40 фс, а динамический диапазон ограничен отношением сигнал/шум интенсивности лазерного излучения и не превышает 60 дБ.

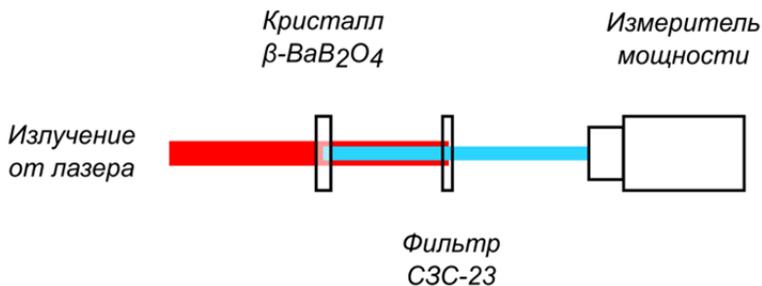


Рис. 2.1. Схема генерации второй гармоники излучения

(Лаборатория информационной оптики)

Публикации:

1. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Potaturkin O.I. Effect of a magnetic field on wideband terahertz generation on the surface of semiconductors // IEEE Transactions on terahertz science and technology, 2015, v. 5, iss. 4. P. 673–679.
2. Анцыгин В.Д., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Потатуркин О.И. Анизотропия терагерцовых оптических свойств и особенности структуры кристаллов КТР // IV Международная конференция по фотонике и информационной оптике (г. Москва, Россия, 28–30 января 2015). Сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. С. 58–59.
3. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Potaturkin O.I. Study of hot carrier relaxation in narrow-gap semiconductors with time-resolved terahertz spectroscopy // The XII International Conference Atomic and Molecular Pulsed Lasers – AMPL (Tomsk, Rus-

Разработка методов формирования волновых фронтов, коррекция аберраций оптических систем и контроля асферических поверхностей в видимом и ИК-диапазонах при помощи дифракционных оптических элементов. Исследование влияния паразитной периодической модуляции микрорельефа ДОЭ для ИК-диапазона в зависимости от поляризации, угла наклона и периода модуляции (ответственные исполнители: д.т.н. Корольков В.П., к.т.н. Насыров Р.К.).

Проведены исследования формы дифракционной структуры киноформного поворотного элемента, предназначенного для фокусировки мощных лазерных пучков с длиной волны 10.6 мкм. Показано, что высота структуры элемента, наклонённого на угол α относительно падающего светового пучка, должна изменяться в зависимости от азимутального угла φ , принимая значения от максимального, равного $h = \lambda / (2 \cos \alpha)$, в вертикальном сечении, до минимального, равного $h = \lambda / 2$, в горизонтальном сечении. Показано, что учёт изменения высоты структуры на поверхности дифракционного элемента обуславливает уменьшение световых потерь, вызванных затенением из-за наклонного падения светового пучка, до 1.3 %, а при двух зеркалах – до 0.6 %. При этом потери, вызванные дифракцией, на порядок меньше и могут не приниматься во внимание, а потери из-за размытия склона, обусловленного технологическим процессом, и из-за отклонения высоты структуры от расчётного значения могут быть на порядок выше. Величина затенения зоны из-за размытия крутого склона должна быть приблизительно в 2 раза меньше затенения, вызванного наклоном светового пучка, чтобы потери от этих двух эффектов были соизмеримы.

Разработан метод юстировки оптических систем, состоящих из нескольких элементов, при помощи ДОЭ. Метод основан на том, что на одной подложке расположено несколько дифракционных зон, каждая из которых соответствует одной из поверхностей контролируемой системы. В случае, когда система настроена, поле равномерной интенсивности возникает во всех дифракционных зонах. При небольшой разъюстировке возникает интерференционная картина, по которой можно определить смещение компонентов системы. Метод экспериментально реализован для контроля правильности сборки двухлинзового объектива.

Предложен новый вид сфокусированных плосковершинных монохроматических пучков, которые описываются аналитическими формулами и обладают следующими структурными свойствами. В области перетяжки они имеют прямоугольную геометрию, плоский волновой фронт, расширенную центральную (относительно оптической оси) область с равномерным распределением интенсивности, а также быстрое затухание на внешних границах при переходе из освещенной области в тень. Математически форма таких пучков строится на основе свертки фунда-

ментальной гауссовой моды с прямоугольной апертурной функцией. По этому признаку предложенные пучки можно отнести к классу так называемых mesa пучков. Показано, что их амплитудно-фазовые профили хорошо согласуются с профилями известных уплощенно-гауссовых пучков (описываемых функциями Эрмита–Гаусса), а также с профилями мульти-гауссовых пучков (при их расширенной обобщенной формулировке). Предложенная математическая форма mesa пучков является более компактной и удобной для практического применения, одним из которых является приближенное описание и моделирование распространения широкоапертурных пучков проектируемых сверхмощных лазеров. Кроме того, она может быть применена при синтезе оптимальных аподизированных профилей различных оптических полутонных масок.

Предложен метод изготовления ДОЭ для фокусировки излучения мощных CO_2 лазеров в технологических установках, основанный на использовании растриванной фотолитографии с зазором. Теоретически изучена эволюция формы микрорельефа дифракционных зон в зависимости от зазора между фотошаблоном и пленкой фоторезиста, а также периодом и типом растра фотошаблона. Показано, что при угле падения 45° период растра не должен превышать 6.2 мкм для устранения паразитных дифракционных порядков. Оптимальный зазор между шаблоном и пленкой фоторезиста лежит в пределах 50–60 мкм.

Разработан метод формирования непрерывного микрорельефа корректоров волнового фронта для мощных лазеров с длиной волны 1.06 мкм, основанный на бесшаблонной фотолитографии с пространственным модулятором света. Метод позволяет оперативно формировать в фоторезисте гладкий микрорельеф фазовых конформальных корректоров в рабочем поле до $60 \times 80 \text{ мм}^2$ на плоской или сферической поверхности подложки с размером светового поля. Это создает базу экономически эффективного индивидуального производства фазовых корректоров для кристаллов с большим световым полем, используемых в качестве активных элементов мощных твердотельных лазеров.

(Лаборатория дифракционной оптики)

Публикации:

1. Паньков А.В., Насыров Р.К., Корольков В.П. Оптимизация метода изготовления высокоэффективных дифракционных оптических элементов с применением фотолитографии с зазором // Известия высших учебных заведений. Физика, 2015, т. 58, № 11/3. С. 136–140.
2. Ленкова Г.А. О возможности применения дифракционных и гармонических структур в конструкциях внутриглазных факических линз // Оптика и спектроскопия, 2015, т. 118, № 4. С. 623–629.
3. Sedukhin A.G. Rectangular symmetrical mesa beams and their comparison with flattened Gaussian and multi-Gaussian beams // Optics Communications, 2015, v. 335. P. 284–292.
4. Миронников Н.Г., Деревянко Д.И., Корольков В.П., Шелковников В.В. Исследование лазерной записи дифракционных структур на пленках нового гибридного фотополимерного материала // Известия высших учебных заведений. Физика, 2015, т. 58, № 11/3. С. 144–146.

5. Верховгляд А.Г., Завьялова М.А., Кокарев С.А., Корольков В.П., Качкин А.Е. Круговая лазерная записывающая система для формирования фазовых и амплитудных микроструктур на сферических поверхностях // Датчики и системы, 2015, № 10. С. 45–52.
6. Dostovalov A.V., Korolkov V.P. and Babin S.A. Simultaneous formation of ablative and thermochemical laser-induced periodic surface structures on Ti film at femtosecond irradiation // Laser Physics Letters, 2015, v. 12, № 3. P. 036101 (6 p.).
7. Ленкова Г.А. Высокоэффективный дифракционный поворотный фокусирующий элемент // Автометрия, 2015, т. 51, № 6. С. 32–40.
8. Ленкова Г.А. Особенности измерения оптической силы бифокальных дифракционно-рефракционных хрусталиков глаза МИОЛ-Аккорд // XII Международная конференция «Голография, Наука и практика», «ГолоЭкспо–2015» (г. Казань, Россия, 12–15 октября 2015). Сборник трудов. С. 286–289.
9. Паньков А.В., Насыров Р.К., Корольков В.П. Моделирование и оптимизация фотолитографической технологии изготовления дифракционного поворотного фокусирующего элемента для ИК диапазона // XI Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 1. С. 12–17.
10. Миронников Н.Г., Деревянко Д.И., Корольков В.П., Шелковников В.В. Исследование механических и термооптических свойств нового гибридного фотополимерного материала // Там же. С. 59–64.
11. Полещук А.Г., Корольков В.П., Насыров Р.К. Дифракционные оптические элементы для управления параметрами лазерного излучения и прецизионного контроля формы асферических поверхностей, Круговая лазерная записывающая система для изготовления ДОЭ на сферических поверхностях // Там же, т. 2. С. 232–238.
12. Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Бережная В.Н., Лоскутов В.А., Орлова Н.А., Огнева Л.Н., Миронников Н.Г., Корольков В.П. Исследование оптических методов формирования многоуровневого дифракционного микрорельефа на пленках гибридного фотополимерного материала «гибример-42» // XII Международная конференция «Голография, Наука и практика», «ГолоЭкспо–2015» (г. Казань, Россия, 12–15 октября 2015). Сборник трудов. С.150.
13. Korolkov V.P., Konchenko A.S. Application of specular spectroscopic scatterometry for profile depth measurement at diffractive optics fabrication // EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2015 (Munich, Germany, June 22–25) CD of abstracts.
14. Korolkov V.P., Verhoglyad A.G., Kokarev S.A., Kastorsky L.B., Zavyalova M.A., Poleshchuk A.G., Mironnikov N.G., Kachkin A.E., Shimansky R.V., Derevyanko D.I., Shelkovnikov V.V. Laser systems and technologies for manufacturing of micro-optical and diffractive elements on spherical surfaces // EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2015 (Munich, Germany, June 22–25). https://www.conftool.com/wpc2015-eosconferences/index.php?page=browseSessions&form_session=3
15. Достовалов А.В., Корольков В.П., Бабин С.А. Создание периодических самоориентирующихся структур на поверхности никеля и титана фемтосекундным излучением // VI Всероссийская конференция «Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине – CLAPT 2015» (г. Новосибирск, Россия, 24–27 марта 2015), т. 1. С. 89–92.
16. Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Гольденберг Б.Г., Лемзяков А.Г., Миронников Н.Г. Формирование и исследование микроструктур на основе гибридных акрилат-силоксановых олигомеров для LIGA-технологии // Национальная молодежная научная школа «Синхронные и нейтронные исследования» (СИН-нано) (Москва, Россия, 6–11 июля 2015). Сборник аннотаций. С. 39.
17. Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Орлова Н.А., Гольденберг Б.Г., Лемзяков А.Г., Миронников Н.Г. Формирование и исследование микроструктур на основе акрилатного мономера для liga-технологии // III Международная школа-семинар «Фотоника нано- и микроструктур» (г. Томск, Россия, 7–11 сентября 2015). Сборник трудов конференций. С. 21.

18. Корольков В.П., Шиманский Р.В. Программное обеспечение для управления комплексом устройств в составе интерферометра, захвата оцифрованных интерферограмм и их математической обработки в интерактивном режиме. Свидетельство на программу для ЭВМ № 2015613757, зарег. 25.03.2015.

Разработка экспериментального образца высокопроизводительной системы для измерения профиля больших поверхностей (более 10 см²) изделий микроэлектроники и оптики на основе многоканальной конфокальной микроскопии с использованием методов формирования виртуальной диафрагмы и современных скоростных систем технического зрения высокого разрешения и двухкоординатных угловых сканеров (ответственный исполнитель к.т.н. Бессмельцев В.П.).

Разработан экспериментальный образец высокопроизводительной системы для измерения профиля больших поверхностей (более 10 см²) изделий микроэлектроники и оптики (с разрешением 50 нм по XYZ координатам) на основе многоканальной конфокальной микроскопии с использованием методов формирования виртуальной диафрагмы и современных скоростных систем технического зрения высокого разрешения и двухкоординатных угловых сканеров.

Технический результат достигается за счет того, что коллимированный свет лазерного источника расщепляется в матрицу независимых отдельных лучей, направляемых затем через последовательно расположенные вдоль оптической оси матрицу конфокальных диафрагм (так чтобы каждый луч проходил через соответствующее отверстие в матрице диафрагм) и светоделительную пластину и после модуля сканирования попадающих через формирующую и фокусирующую оптику на исследуемый объект. Упомянутая матрица формируется из лазерного луча дифракционным оптическим элементом, одновременно выполняющим предварительную фокусировку световых лучей в плоскость матрицы диафрагм, а сканирование матрицы лучей по двум координатам исследуемого объекта осуществляется с помощью двух преломляющих плоскопараллельных пластин, установленных на соответствующих осях роторов отдельных гальваносканерах. При этом движение пластины по каждой координате синхронизировано с движением другой пластины со сканером, установленной в блоке регистрирующей матрицы детекторов перед формирующей и фокусирующей оптикой [1].

Проведено численное моделирование распространения лучей в оптической системе многоканального конфокального микроскопа, позволяющее оценивать форму профиля изображения сфокусированного лазерного луча в толстом слое флюорофора. Предложенные методы моделирования позволяют рассчитать отношение сигнала к шумовой (фоновой) засветке конфокальной системы в случае большого количества параллельных каналов без использования больших вычислительных ресурсов. Проведено сравнение с экспериментальными измерениями при последовательном сканировании толстого слоя флюорофоров по глубине. На основе гауссовского приближения получена формула профиля флуоресценции

изображения свечения толстого слоя флюорофора в оптической системе конфокального многолучевого сканирующего микроскопа. Для подтверждения применимости полученной формулы выполнено сравнение с экспериментально измеренными профилями (рис. 2.2). Полученные формулы могут быть использованы для быстрой оценки характеристик многоканальных конфокальных систем [2].

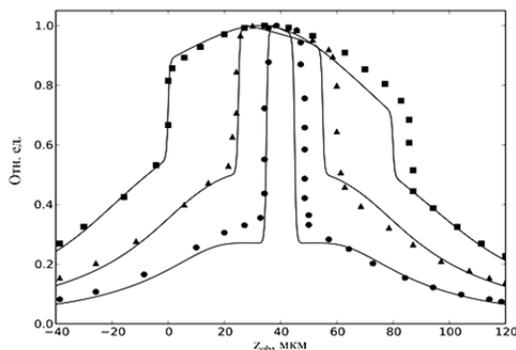


Рис. 2.2. Сравнение экспериментальных и расчетных профилей z-сканирования для различных толщин слоя флюорофора: квадраты – 80 мкм, треугольники – 30 мкм, кружки – 10 мкм

(Лаборатория лазерной графики)

Публикации:

1. Бессмельцев В.П., Терентьев В.С. Заявка на патент №201413355/28(055548).
2. Бессмельцев В.П., Терентьев В.С. Расчет пространственного распределения флуоресценции толстого слоя флюорофора в многоканальном микроскопе // Оптический журнал, 2015, т. 82, № 7. С. 1–8.

Исследование методов, компьютерное моделирование и разработка алгоритмов уменьшения погрешности измерения параметров полупроводниковых структур. Разработка прибора для измерения токов утечки фемтоамперного диапазона при малом тестовом напряжении (ответственный исполнитель к.т.н. Вьюхин В.Н.).

Теоретически и экспериментально выполнен анализ погрешностей измерительных блоков прибора для измерения характеристик полупроводниковых структур [1]. Проведен детальный анализ погрешностей интеграторной измерительной цепи на высоких частотах. Показано, что в результирующей погрешности превалирует фазовая ошибка интегратора. Получены выражения для частотной погрешности, позволяющие разработать алгоритмы уменьшения ошибок измерения. Моделирование и экспериментальная проверка на макете подтвердили выбранную методику проектирования, позволяющую минимизировать ошибки измерения прибора. Разработан детектор сигнала на частоту 5МГц, имеющий погрешность менее 0.5 %.

Впервые получены расчетные соотношения, подтвержденные в эксперименте, позволяющие вычислять и в дальнейшем корректировать

ошибки измерения, обусловленные наличием емкости линии связи интегратора с исследуемой структурой.

Приведенные результаты использовались при разработке приборов для измерения характеристик полупроводниковых структур, используемых в ИФП СО РАН.

(Тематическая группа многоканальных анализаторов оптического и рентгеновского излучений)

Публикации:

1. Вьюхин В.Н. Анализ частотной погрешности измерения емкости полупроводниковых структур // Автометрия, 2015, т. 51, № 5. С. 120–125.

Разработка системы выставления вертикали измерительного луча в интерферометре эталонного гравиметра. Мониторинг гравитационного поля в сейсмоактивных и пограничных зонах «континент–океан» (ответственный исполнитель к.т.н. Стусь Ю.Ф.).

Комплексная экспедиция наблюдений современных движений земной коры и вариаций гравитационного поля (экспедиция) (ответственный исполнитель к.т.н. Арнаутов Г.П.).

Разработана и испытана система выставления вертикали измерительного луча в интерферометре эталонного гравиметра. Система базируется на регистрации видеокамерой траектории смещения луча, отраженного от уголкового отражателя в процессе свободного падения тела. Определение величины и направления угла отклонения от вертикали производится компьютером путем покадровой обработки полученной видеозаписи. Экспериментальная проверка показала, что погрешность выставления вертикали не превышает 3×10^{-5} рад, при этом ее вклад в общую ошибку определения g не превышает 5×10^{-9} м/с².

Продолжен мониторинг абсолютного значения ускорения силы тяжести (g) в зоне перехода «континент–Японское море» на базе морской экспедиционной станции «Мыс Шульца» Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН на полуострове Гамова. Наблюдения выявили увеличение абсолютного значения g на 4.1 мкГал на пункте № 1 (Гора) относительно нулевой отметки (рис. 2.3). Разность значений g между пунктами № 1 и № 2 (Берег) составила в 2015 году 7922 мкГал. Пункт № 2, расположенный на 46 м ниже основного пункта № 1, был заложен сотрудниками ИАиЭ СО РАН в 2012 году и используется специалистами ТОИ ДВО РАН для калибровки приливного гравиметра gPhone.

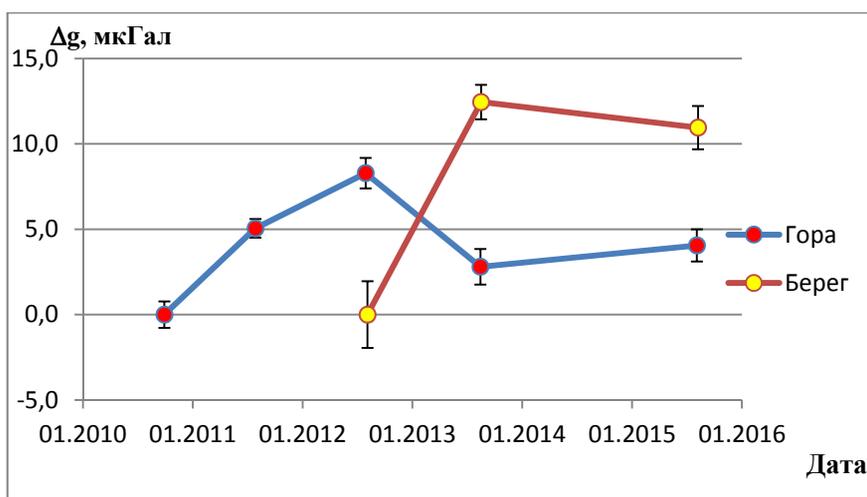


Рис. 2.3. Результаты мониторинга гравитационного поля на мысе Шульца

Комплексной экспедицией наблюдений современных движений земной коры проведены повторные измерения баллистическим гравиметром абсолютного значения ускорения силы тяжести и его вариаций в сейсмоактивных зонах: на пунктах Горного Алтая «Усть-Кан», «Кайтанак» и на перевале «Чике-Таман». Среднеквадратическая погрешность измерения вариаций Δg не превышала $2 \text{ мкГал} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$. Из анализа результатов измерений следует, что на всех пунктах Горного Алтая регистрируются вариации Δg , отражающие афтершоковый процесс в Земной коре после Чуйского землетрясения 2003 г. (на контрольном пункте в г. Новосибирске Δg стабильно в пределах погрешности измерений). При этом на пункте «Кайтанак», расположенном ближе других к эпицентру землетрясения ($L = 230 \text{ км}$), в 2013 г. произошла смена знака тренда Δg , и в последующие годы тренды на всех трёх пунктах выровнялись (рис. 2.4).

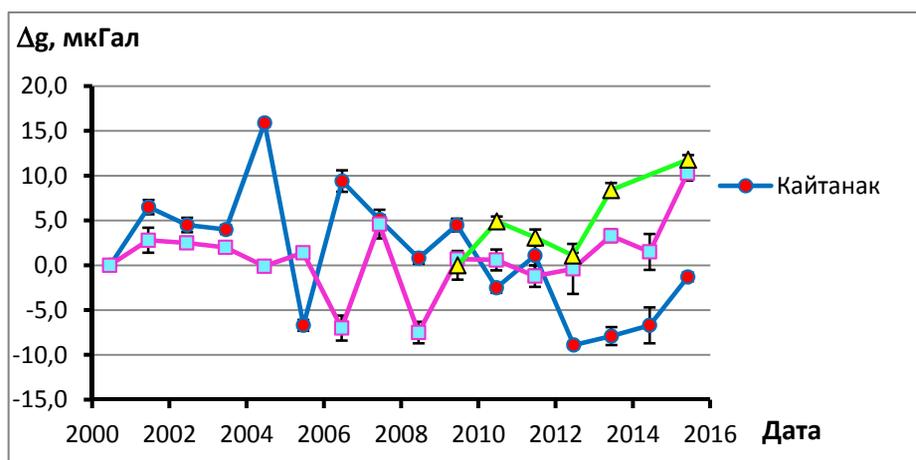


Рис. 2.4. Неприливные вариации Δg на пунктах Горного Алтая

В комплексе с результатами спутниковых GPS-измерений вертикальных движений поверхности Земли, проводимых сотрудниками Ин-

ститута нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, эти данные позволят уточнить механизм геодинамических процессов в исследуемом регионе.

(Тематическая группа лазерной гравиметрии)

Публикации:

1. Ардюков Д.Г., Калиш Е.Н., Носов Д.А., Сизиков И.С., Смирнов М.Г., Стусь Ю.Ф., Тимофеев В.Ю., Кулинич Р.Г., Валитов М.Г. Измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести на мысе Шульца // Гироскопия и навигация, 2015, № 3 (90). С. 13–18. Электронная версия: <http://www.elektroprigor.spb.ru/gn>. ISSN 2075-0927.
2. Ardyukov D.G., Kalish E.N., Nosov D.A., Sizikov I.S., Smirnov M.G., Stus Yu.F., Timofeev V.Yu., Kulnich R.G., and Valitov M.G. Absolute Gravity Measurements at Shults Cape // Gyroscopy and Navigation, 2015, v. 6, № 4. P. 260–264. Pleiades Publishing, Ltd., 2015. <http://www.elektroprigor.spb.ru/en/egn.html>
3. Арнаутов Г.П., Калиш Е.Н., Носов Д.А., Сизиков И.С., Смирнов М.Г., Стусь Ю.Ф. Оценка последствий деформационных процессов в геологической среде юго-западной части Байкальского геодинамического полигона по данным гравиметрических и GPS наблюдений // XI Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: Сб. Материалов, т. 2. Новосибирск: СГУГиТ, 2015. С. 8–13.
4. Тимофеев В.Ю., Калиш Е.Н., Валитов М.Г., Стусь Ю.Ф., Кулинич Р.Г., Ардюков Д.Г., Горнов П.Ю., Тимофеев А.В., Носов Д.А., Сизиков И.С. Косейсмические эффекты на континентальной окраине (космическая геодезия и гравиметрия) // Там же. С. 264–270.
5. Timofeev V., Kalish E., Ardyukov D., Valitov M., Timofeev A., Stus Y., Kulnich R., Nosov D., Sizikov I. Gravity observation at continental borderlands (Primorie, Cape Shults, Russia) // International Symposium Asia-Pacific Space Geodynamics (APSG), Project on «Geodetic Datum and Regional and Terrestrial Reference Frame Realization» (Moscow, Russia, 24–28 August 2015). Abstracts of oral presentations. P. 25.

НАПРАВЛЕНИЕ II.10. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом.

ПРОГРАММА II.10.1. Современные проблемы физики сверхсильных световых полей, спектроскопии сверхвысокого разрешения. Стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики. Координатор акад. РАН С.Н. Багаев.

***Проект II.10.1.2.* Новые оптические методы исследования внутренних свойств, пространственной структуры и элементного состава синтезированных и природных материалов. Лазерная интерферометрия с оптической обратной связью.**

№ гос. рег. 01201365441.

Исполнители проекта:

Лаборатория оптических информационных систем (ответственные исполнители: к.т.н. Щепеткин Ю.А., к.т.н. Штейнберг И.Ш., к.т.н. Пен Е.Ф., к.т.н. Родионов М.Ю., к.ф.-м.н. Наливайко В.И., д.т.н. Лабусов В.А.).

Тематическая группа лазерных информационно-измерительных систем (ответственный исполнитель д.т.н. Соболев В.С.).

Тематическая группа мощных ионных лазеров (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Донин В.И.).

Научный руководитель д.т.н. **Твердохлеб П.Е.**

Поиск путей снижения порога чувствительности коллинеарного гетеродинного метода детектирования амплитуды и фазы рассеянного оптического излучения (ответственный исполнитель к.т.н. Щепеткин Ю.А.).

Известно, что измерение малоуглового рассеяния света оптически элементами (например, на основе лазерной керамики) проводится с целью оценки степени однородности их структуры. Например, по характеру зависимости спектральной плотности рассеянного света от угла рассеяния возможна приближенная оценка характерных размеров рассеивающих частиц. Сложность этой задачи обусловлена тем, что в области углов дифракции, меньших нескольких градусов, наблюдается значительное увеличение спектральной плотности мощности шумов, обусловленных флуктуациями света источников излучения и рассеянием оптических элементов систем.

Определены основные источники шумов, и предложены методы уменьшения их влияния на порог чувствительности гетеродинного фотодетектора, являющегося одним из важнейших элементов лазерной системы доплеровской томографии (предложена нами в 2000 г.).

1. Избыточные шумы (флуктуации мощности) излучения полупроводникового лазера.

Проведено экспериментальное сравнение уровня шумов на выходе фотоприемника при освещении его когерентным светом лазерного диода DL-6147-040 ($\lambda = 0.658$ мкм) с уровнем дробового шума фототока при некогерентном освещении. Поскольку величина избыточного шума пропорциональна мощности излучения лазера, измерения проводились при максимальном её значении 20 мВт. Результаты серии измерений показали, что избыточные шумы излучения лазера на частоте 80 МГц превышают уровень дробового шума всего на 5 %. Это позволило сделать вывод о том, что при выполнении гетеродинных измерений с использованием современных одночастотных полупроводниковых лазеров можно не учитывать избыточные шумы их излучения.

2. Шумы рассеяния на оптических элементах, формирующих световой пучок на входе акустооптического дефлектора (АОД).

Установлено, что такие шумы оказывают наибольшее влияние при работе в области низких пространственных частот, когда «считывающие»

пучки из-за малого угла дифракции частично перекрываются. Доля света, попавшего в зону перекрытия, определяет тот уровень помехи, который возникает даже при отсутствии исследуемой среды. Поскольку пучки света имеют конечные размеры, избавиться от перекрытия их боковых пространственных спектральных компонент полностью невозможно. Кроме того, в схеме формирования пучков, как правило, происходит дополнительное уширение их пространственных спектров: например, из-за дифракции света на краях апертуры коллиматора света полупроводникового лазера. Оказалось, что наиболее эффективным способом снижения порога чувствительности в этом случае является установка перед АОД фильтрующей диафрагмы.

3. Шумы рассеяния на оптических элементах, расположенных между АОД и исследуемым образцом материала.

Показано, что для снижения влияния шумов рассеяния на порог чувствительности необходимо применять линзы с такими фокусными расстояниями, при которых дифрагированные в АОД «считывающие» пучки не перекрывались бы на поверхности линзы и не формировали бы там бегущую интерференционную решетку.

4. Шумы рассеяния материала светозвукопровода АОД.

Эти шумы оказывают наиболее существенное влияние на порог чувствительности гетеродинного детектора. Так, в результате распространения внутри светозвукопровода АОД бегущей интерференционной решетки, осуществляется «считывание» шумовых решеток материала светозвукопровода. Кроме того, дифрагированный пучок рассеивается внутри и на поверхностях светозвукопровода АОД. В ранее предложенной нами схеме гетеродинного детектирования [Отчет по НИР за 2014 г., раздел 1, с. 9] показано, что источник шумов по п. 1 не оказывает существенного влияния на порог чувствительности, поскольку спектр временных гармоник этих шумов лежит в области высоких частот и не воспринимается «низкочастотным» фотоприемником. Наихудшим является случай рассеяния в материале светозвукопровода в области низких пространственных гармоник. Поэтому для измерения спектральной плотности дифракционной эффективности низкочастотных шумовых решеток Ф была принята оптическая схема (рис. 2.5), предусматривающая измерение шумов рассеяния с помощью кольцевого фотоприемника. Параметры кольцевого фотоприемника: диаметр внутреннего светонепроницаемого экрана 7 мм, внешний диаметр фотоприемника (ФД-24К) 10 мм. Диаметр светового пучка на образце равен 1.5 мм (по уровню $1/e^2$ максимальной мощности), угол $\varphi = 27$ мрад.

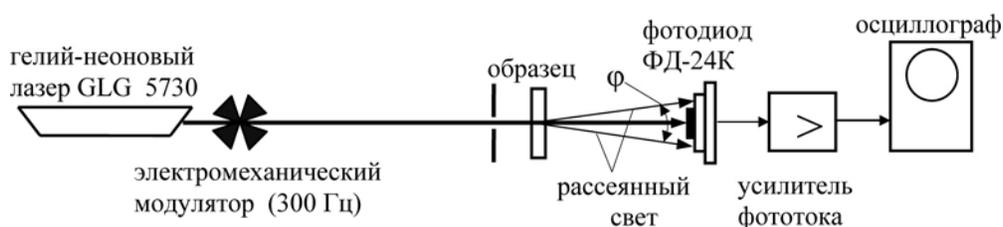


Рис. 2.5. Схема установки для измерения шумов рассеяния оптических элементов

5. Результаты измерений спектральной плотности шумов рассеяния Φ .

Для образца лазерная керамика Nd:YAG R10097 (1 % Nd, Baikowski Ltd, Япония) толщиной 2.2 мм – $\Phi = 1.1 \cdot 10^{-7} \text{ мм}^2$.

Для светозвукопровода акустооптического модулятора МЛ-201, лучший из пяти образцов (материал – стекло ТФ-7, толщина 15 мм) – $\Phi = 0.7 \cdot 10^{-7} \text{ мм}^2$.

Для светозвукопровода АОД (материал – монокристалл TeO_2 , толщина – 10 мм, волна звука – продольная, направление распространения звука – [001], лазерного излучения – [010]) – $\Phi = 2.12 \cdot 10^{-7} \text{ мм}^2$.

Для светозвукопровода АОД (материал – монокристалл TeO_2 , толщина – 20 мм, дифракция – анизотропная) – $\Phi = 4.2 \cdot 10^{-7} \text{ мм}^2$.

Следует отметить, что приведенные результаты (в том числе и по лазерной керамике) получены при освещении областей поверхности материала с минимальным рассеянием. Реально разность между минимальным и максимальным значениями параметра Φ по апертуре АОД может отличаться на порядок и более (например, у МЛ 201 в 14 раз). Причиной является низкое качество просветляющего покрытия светозвукопровода.

Таким образом, из всех источников шумов, ухудшающих порог чувствительности гетеродинного детектора, наиболее существенными являются шумы рассеяния света внутри и особенно на поверхности светозвукопровода АОД. Измерение уровня этих шумов показало, что стекло ТФ-7 имеет по сравнению с монокристаллами TeO_2 значительно меньшее рассеяние. С целью уменьшения шумов высококачественной оптической керамики необходимо улучшать качество просветляющего покрытия стекла ТФ-7.

(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Steinberg I.Sh., Shepetkin Yu.A. Restoration of the near-diffraction-limited response size at heterodyne detection of microholograms, distorted by spherical aberration // Applied Optics, 2015, v. 54 (30). P. 8878–8883.

Исследование особенностей интерференционной микромодификации фотополимерного материала с синглет-триплетным механизмом возбуждения красителя при облучении мощными (до 10 ГВт/см^2) наносекундными импульсами лазера с длиной волны 532 нм (ответственный исполнитель к.т.н. Штейнберг И.Ш.).

Проведено исследование особенностей микромодификации в новом по механизму возбуждения красителя ФПМ, основанном на использовании запрещенных синглет-триплетных переходов красителя-сенситизатора (разработан в НИОХ СО РАН). Достоинством такого материала является возможность проведения однородной по глубине записи, что особенно важно в случае многослойной памяти на основе микрорешеток. При записи микрорешеток была использована голографическая методика, а затем с помощью метода коллинеарного гетеродинного детектирования определялась их дифракционная эффективность. Далее по известной формуле Когельника (для фазовых пропускающих голограмм) вычислялась амплитуда модуляции показателя преломления.

Согласно [1] при возбуждении органических молекул помимо разрешенных по мультиплетности синглет-синглетных ($S1 \leftarrow S0$) переходов присутствуют запрещенные синглет-триплетные переходы ($T1 \leftarrow S0$). Коэффициенты экстинкции на этих переходах являются малыми ($10^{-4} - 10^{-1} \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), а их частоты сдвинуты в красную область. Интенсивность $T1 \leftarrow S0$ поглощения зависят от величины спин-орбитального взаимодействия и может быть увеличена путем введения тяжелого атома во внутреннюю структуру молекулы красителя. В этом случае интенсивность излучения, необходимая для получения одинаковой в сравнении с $S1 \leftarrow S0$ скорости фотопревращений хромофора, должна быть повышена и равной

$$I_T = I_S \frac{\epsilon_{SS} C_S}{\epsilon_{ST} C_T}, \quad (2.1)$$

где I_S – оптимальная интенсивность излучения при записи на основе $S1 \leftarrow S0$ переходов, ϵ_{SS} и ϵ_{ST} – коэффициенты молярной экстинкции для $S1 \leftarrow S0$ и $T1 \leftarrow S0$ переходов соответственно, а C_S и C_T – концентрации красителя для записи на $S1 \leftarrow S0$ и $T1 \leftarrow S0$ переходах соответственно. Концентрацию красителя можно поднять на порядок, вплоть до его кристаллизации. Принимая во внимание, что $\epsilon_{SS}/\epsilon_{ST} \sim 10^5$, из (2.1) находим значение $I_T = 10^4 I_S$. Тогда для типичных значений интенсивностей $I_S = 10^{-1} \text{ Вт/см}^2$ значение I_T будет находиться на уровне 10^3 Вт/см^2 . Учитывая, что запись микрорешеток проводилась в области пересечения двух сильно сфокусированных пучков, интенсивность излучения в этой области будет большой ($\sim 10^9 \text{ Вт/см}^2$), в силу чего можно ожидать протекания двухквантовых реакций, при которых возбуждение молекулы красителя осуществляется двумя последовательными переходами: $T1 \leftarrow S0$ и $T2 \leftarrow T1$. Выражение для скорости образования фотопродукта R в случае, когда длительность лазерного импульса много меньше времени жизни уровня $T1$, имеет вид

$$\frac{dR}{dt} = a \mathcal{I}_0^2 C_0 \epsilon_{ST} \epsilon_{TT} t, \quad (2.2)$$

где γ – квантовая эффективность двухступенчатой реакции, C_0 – концентрация красителя, ϵ_{TT} – коэффициент молярной экстинкции для перехода $T2 \leftarrow T1$, t – время между началом и концом лазерного импульса ($0 \leq t \leq T$).

Экспериментальные образцы ФПМ имели толщину 100–150 мкм, были нанесены на стеклянную подложку и закрыты сверху защитной пленкой. Последняя предотвращала проникновение кислорода воздуха в фотополимерный слой в процессе записи микрорешеток.

На рис. 2.6, *а* показан спектр поглощения красителя-сенсibilизатора, а на рис. 2.6, *б* – длинноволновый край линии поглощения в сравнении с гауссовым контуром полосы поглощения. Поглощение красителя за пределами полосы поглощения разрешенного перехода (от 500 нм) соответствует синглет-триплетному переходу. Запись микрорешеток проводилась излучением лазера на длине волны 532 нм, а считывание – на длине волны 660 нм. Глубина записи составляла 40–60 мкм. Размер микрорешетки в плоскости среды – 0.8×1.2 мкм², а её толщина – 4.5 мкм.

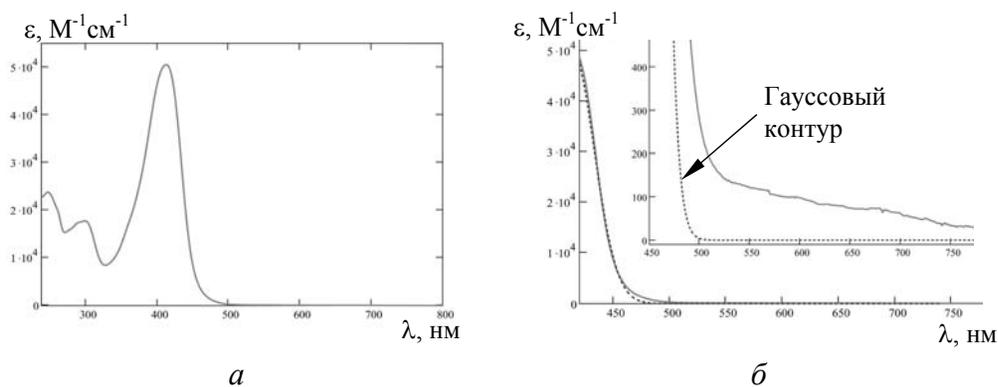


Рис. 2.6. Спектр поглощения красителя-сенсibilизатора (*а*); длинноволновый склон поглощения красителя по сравнению с гауссовым контуром синглет-синглетной полосы поглощения (*б*).

На вкладке этот участок спектра приведен с увеличением

Запись микрорешеток проводилась путем экспонирования ФПМ одним световым импульсом при нескольких значениях интенсивности записывающих пучков. На рис. 2.7 приведена зависимость амплитуды модуляции показателя преломления в микрорешетке от суммарной интенсивности пучков. Было показано, что для исследуемых материалов эта зависимость имеет линейный характер. Это соответствует предположению, что запись происходит путем двухступенчатого возбуждения красителя. В случае радикальной полимеризации, как известно, скорость полимеризации пропорциональна корню квадратному от скорости фотореакции красителя. Согласно выражению (2.2) скорость фотореакции в случае двухступенчатого возбуждения квадратично зависит от интенсивности,

поэтому скорость полимеризации и изменение показателя преломления будут линейно зависеть от интенсивности.

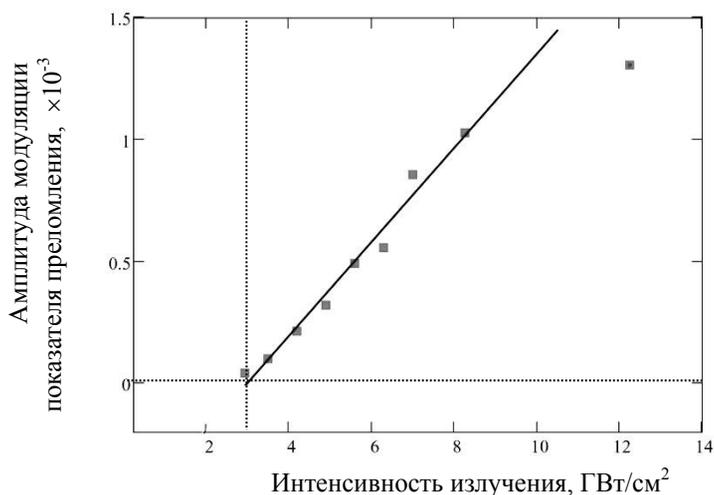


Рис. 2.7. Зависимость амплитуды модуляции показателя преломления в ФПМ от интенсивности излучения ($\lambda = 532$ нм) при экспонировании одним импульсом

При экспонировании ФПМ одним импульсом и суммарной интенсивности записывающих пучков на уровне 10 ГВт/см^2 была достигнута амплитуда модуляции показателя преломления в микрорешетке $\Delta n = 1.3 \times 10^{-3}$. Из рис. 2.7 также следует, что запись носит пороговый характер. Значение порога для исследуемого материала составляет величину $\sim 2.9 \text{ ГВт/см}^2$. Длительность записи составляла 1,7 нс. Это означает, что чувствительность исследуемого ФПМ на порядок превышает чувствительность известных двухфотонных ФПМ.

Исследования шумов ФПМ проводились путем гетеродинного детектирования неэкспонированных образцов при сканировании их образцов вдоль плоскости среды (ось Y) на протяжении 200–250 мкм и на глубине ~ 40 мкм. В первых сериях изготовленных образцов уровень шума был соизмерим с уровнем ожидаемого сигнала, поэтому запись микрорешеток на таких образцах не проводилась.

Существенное уменьшение уровня шума было достигнуто путем фильтрации основного и сшивающего мономера с помощью субмикронных фильтров. Результаты сканирования образца ФПМ, полученные таким способом, приведены на рис. 2.8. На рисунке видны области с низким уровнем шума, на которых и проводилась запись микрорешеток. Видны также шумовые «пички», которые, по-видимому, связаны с наличием в ФПМ микропузырьков воздуха. Уровень шумов ФПМ может быть уменьшен путем улучшения технологии их изготовления.

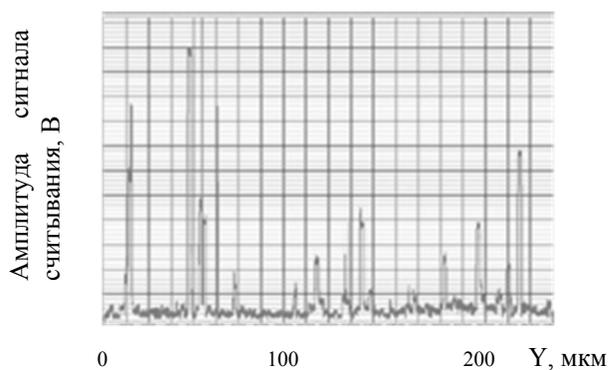


Рис. 2.8. Изменение амплитуд сигнала считывания при сканировании неэкспонированного образца ФПМ вдоль оси Y, изготовленного из предварительно профильтрованных мономеров

Таким образом, нами проведена запись объемных микрорешеток размером $0.8 \times 1.2 \times 4.5$ мкм³ на глубине 40–60 мкм в толстом (100–150 мкм) ФПМ, основанном на возбуждении запрещенных синглет-триплетных переходов красителя–сенсibilизатора при облучении мощными (до 10 ГВт/см²) наносекундными импульсами лазера с длиной волны 532 нм. Показано, что в таких ФПМ зависимость амплитуды модуляции показателя преломления от интенсивности записывающих пучков имеет линейный характер, что свидетельствует о двухступенчатом механизме возбуждения красителя. Запись носит пороговый характер. Величина порога составляет 2.9 ГВт/см². Следует отметить, что запись микрорешеток происходит за один импульс длительностью 1.7 нс. Это, в свою очередь, означает, что чувствительность материала на порядок выше известных двухфотонных фотополимерных материалов, у которых амплитуда модуляции показателя преломления $\Delta n = 1.3 \times 10^{-3}$ достигалась при экспонировании 8–10 импульсами. Материал имеет перспективы для применения в качестве регистрирующей среды при создании многослойной системы оптической памяти.

Результаты по тематике исследований отражены в публикациях [2, 3].

(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Шелковников В.В., Пен Е.Ф., Ковалевский В.И., Васильев Е.В., Русских В.В., Герасимова Т.Н. Голографическая запись на запрещенных синглет-триплетных переходах // Оптика и спектроскопия, 2004, т. 96, № 6. С. 1034–1042.
2. Багаев С.Н., Осипов В.В., Ватник С.М., Шитов В.А., Штейнберг И.Ш., Ведин И.А., Курбатов П.Ф., Лукьяшин К.Е., Максимов Р.Н., Соломонов В.И., Твердохлеб П.Е. Лазерные Re³⁺: YAG-керамики: получение, оптические свойства и генерационные характеристики // Квантовая электроника, 2015, т. 45, № 5. С. 492–497.
3. Bagayev S.N., Osipov V.V., Vatnik S.M., Shitov V.A., Vedin I.A., Platonov V.V., Steinberg I.Sh., Maksimov R.N. Ho:YAG transparent ceramics based on nanopowders produced by laser ablation method: Fabrication, optical properties, and laser performance // Optical materials, v. 50, Part A, 2015. P. 47–51.

Разработка методики определения параметров эффективной усадки фотополимерных материалов (ФПМ), учитывающей фотоиндуцированные значения как физической (геометрической) толщины, так и среднего значения показателя преломления регистрирующего слоя ФПМ (ответственный исполнитель к.т.н. Пен Е.Ф.).

Голографические фотополимерные материалы (ФПМ) наряду со многими положительными качествами имеют ряд недостатков, наиболее существенным из которых является усадка регистрирующего слоя вследствие конверсии вещества (превращения мономера в более плотное вещество – полимер) в ходе фотохимических процессов.

При этом происходят изменения как толщины ФПМ (физическая усадка), так и среднего значения показателя преломления, действующие разнонаправленно на смещение спектрального отклика отражательной голограммы (уменьшение толщины приводит к коротковолновому сдвигу спектрального отклика, а увеличение среднего значения показателя преломления ФПМ вызывает обратный эффект). В работе [1] введено понятие эффективной усадки ($S_{\text{эффект.}}$), характеризующей относительное изменение оптической длины пути света вдоль вектора решетки, и тем самым учитывающей одновременное действие обоих указанных факторов.

В практической работе актуальной является задача количественного определения параметров усадки. Известны различные методы их измерений, однако они не позволяют проводить измерение степени усадки непосредственно в процессе записи голограмм.

Цель исследований: а) разработка новой методики определения параметров эффективной усадки голографических фотополимерных материалов в процессе записи голограмм с погрешностью измерений, приемлемой для практики использования этих материалов; б) создание экспериментальной установки для её реализации.

Предлагаемая методика объединяет в себе возможности известного метода [1], а также ранее предложенного нами метода тестирования ФПМ, позволяющего проводить измерение спектрального отклика объемной отражательной голограммы непосредственно в процессе ее записи [2].

При изучении динамики совместного влияния изменений среднего значения показателя преломления и толщины ФПМ на коэффициент эффективной усадки проведены измерения спектра пропускания голограммы в процессе ее записи. Полученные данные после обработки отображались в виде временных срезов спектра пропускания. Результаты таких измерений показаны на рис. 2.9, а и рис. 2.9, б. Здесь 1 – спектр пропускания голограммы в начальный момент ее записи, когда энергия экспозиции составляла около 5 мДж/см², дифракционная эффективность (ДЭ) – менее 1 %, а длина волны спектрального отклика $\lambda_{r_сарт}$ = 503.8 ± 0.4 нм (это видно на рис. 2.9, б, где изображена кривая аппроксимации экспериментальных данных); 2 – спектр пропускания голограммы в тот момент, когда энергия экспозиции составляла около 12 мДж/см², ДЭ порядка

35 %, длина волны спектрального отклика при этом 502.3 ± 0.1 нм; 3 – результирующий спектр пропускания голограммы в конце времени записи, при этом энергия экспозиции находилась на уровне 50 мДж/см², ДЭ около 60 %, а длина волны спектрального отклика составляла $\lambda_{r_финиш} = 500.5 \pm 0.1$ нм. При дальнейшем увеличении энергии экспозиции ни длина волны спектрального отклика, ни ДЭ голограммы не изменялись.

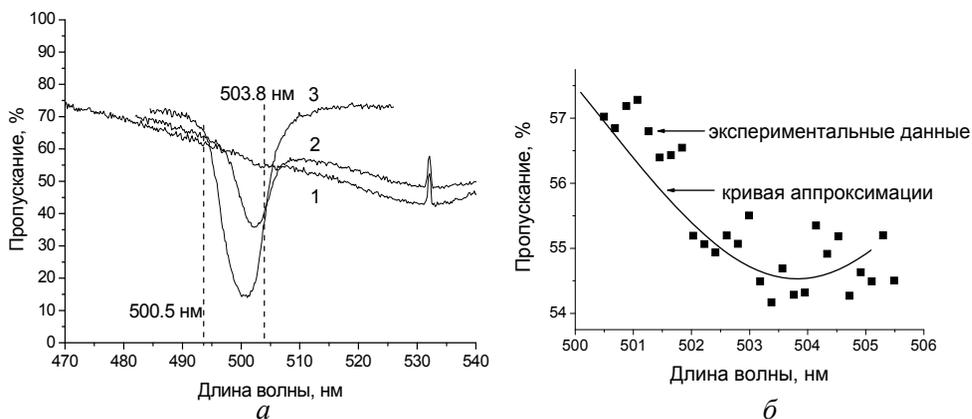


Рис. 2.9. Диаграмма временных срезов спектра пропускания голограммы

Полученные данные позволили оценить значения эффективной усадки для текущего и конечного моментов времени записи. Так, для кривой 2 оказалось $S_{эфф.} = \lambda_{r_финиш} / \lambda_{r_старт} = 0.997 \pm 0.001$, а для кривой 3 – $S_{эфф.} = 0.9934 \pm 0.001$.

Проведены оценки степени усадки на фотополимерных материалах фирмы Bayer MaterialScience (Германия) и Новосибирского института органической химии СО РАН с различными типами мономеров: N-acryoylthiomorpholine; Dihydroxydiphenylsulfide tetraacrylate (DDTA); Dihydroxydiphenylsulfide diacrylate (DDDA); Dihydroxydiphenylsulfide dioxirane (DDDO).

Результаты тестирования этих материалов суммированы в таблице 2.1. Наименьшую степень усадки показали образцы ФПМ разработки НИОХ СО РАН с мономером DDDO, для которого $S_{эфф.} = 0.9988 \pm 0.0004$, что в 5 раз лучше результатов усадки материалов фирмы Bayer MaterialScience. Полученные результаты отражены в публикации [3].

Таблица 2.1.

Фотополимерный материал	Эффективная усадка
Bayer MaterialScience	0.9936
NIOCH PPM with benchmark monomer	0.9737
NIOCH PPM with DDTA monomer	0.9870
NIOCH PPM with DDDA monomer	0.9877
NIOCH PPM with DDDO monomer	0.9988

Полученные результаты отражены в публикации [3].

(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Stevenson S.H. and Steijn K.W. A Method for Characterization of Film Thickness and Refractive Index in Volume Holographic Materials // Proc. SPIE, 1995, v. 2405. P. 88–97.
2. Pen E.F., Shelkovnikov V.V., Goulanian E.H., Kostrov N.A., Labusov V.A. The method for the research of the dynamics of the spectral characteristics of the reflection holograms in photopolymer materials // Proc. of SPIE, 2002, v. 4900. P. 957–961.
3. Пен Е.Ф., Зарубин И.А., Шелковников В.В., Васильев Е.В. Методика определения параметров усадки голографических фотополимерных материалов //Автометрия, 2016 (принята в печать).

Разработка программного модуля для автоматизации процесса послойного восстановления картины интерференционных полос и распределения показателя преломления в объемных голографических решетках путем сравнения их модельных и экспериментальных селективных характеристик (ответственный исполнитель к.т.н. Родионов М.Ю.).

При решении задач восстановления картины интерференционных полос и пространственного распределения показателя преломления в объемных голографических решетках (голограммах) необходимо по их созданным заранее теоретическим моделям провести расчет зависимости дифракционной эффективности от угла падения восстанавливающей волны света (характеризует селективные, избирательные свойства решеток) и сравнить их с селективными характеристиками решеток, получаемых экспериментальным путем. Необходимо далее оценить степень отклонения модельных и экспериментальных характеристик при различных значениях параметров теоретической модели и найти такую комбинацию из них, при которой обеспечивается максимальное совпадение сравниваемых селективных характеристик.

Недостатком ранее созданного (2014 г.) пакета программ, обеспечивающего автоматизацию данного процесса, является то, что выбор и ввод значений параметров, при которых необходимо проводить сравнение селективных характеристик, осуществлялся вручную.

Цель выполненной работы – создание программной реализации более развитой версии такого алгоритма, предусматривающей выполнение автоматическим способом расчетов селективных характеристик и их сравнения с экспериментальными характеристиками на большом массиве комбинаций параметров, получаемых при произвольном шаге их дискре-

тизации. Алгоритм ориентирован на проведение исследований так называемых неоднородных объемных решеток (голограмм).

При разработке упомянутого программного пакета были использованы результаты [1, 2]. Расчет селективных характеристик в этом случае осуществляется при одновременной вариации нескольких выбранных параметров с учетом диапазона их изменения и выбранного шага выборки. При этом сравнение селективных характеристик теоретической и экспериментальной решеток проводится по критерию минимизации среднеквадратичного отклонения. Созданный пакет был успешно апробирован на экспериментальных данных, полученных в период 2011–2014 гг.

На разработанный программный пакет получено свидетельство о государственной регистрации [3].

(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Родионов М.Ю. Программный пакет для расчёта селективных свойств составной многослойной объемной голограммы // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012619902, зарег. 31 октября 2012 г.
2. Родионов М.Ю., Пен Е.Ф. Свойства многослойных неоднородных голографических структур // Квантовая электроника, 2010, т. 40, № 10. С. 914–924.
3. Родионов М.Ю. Программный пакет для автоматического подбора параметров при расчёте селективных свойств неоднородных голограмм // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015661630, зарег. 02.11.2015.

Исследование характеристик внеосевых фокусирующих голографических зеркал сканеров в режиме отражения от нелинейной поверхности (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Наливайко В.И.).

Оптимальная ширина рабочих пучков в схемах оптических межсоединений, как показано, например, в работе [1] составляет порядка 20 мкм. Близкой является также задача переключения пучков света в оптических волокнах. Таким образом, возникает необходимость управления пучками таких размеров. Это достигается путем создания так называемых микросканеров, предназначенных для отклонения пучков света в широком диапазоне углов и их фокусировки с малыми аберрациями.

В настоящее время изготовление короткофокусных отражающих нелинейных поверхностей (сферы, параболы и т. д.) осуществляется путем жидкостной инъекции или изгиба тонких кремниевых мембран. Получены массивы микролинз с фокусными расстояниями от 10 до 100 мкм [2] и короткофокусных микрозеркал [3].

Предложена схема микросканера на основе пьезоактуатора с отражающей нелинейной поверхностью (например, фокусирующего зеркала). Основным преимуществом таких устройств, по сравнению с известными, является простота конструкции. Кроме этого предложена голографическая технология изготовления плоских фокусирующих отражающих зеркал в тонкопленочных регистрирующих материалах [4]. Незначительная масса пленки, нанесенной на поверхность пьезоэлектрического актуатора, мало изменяет его резонансную рабочую частоту, что позволяет обеспе-

чить более высокую скорость сканирования отраженных от зеркала пучков по сравнению с зеркалами из объемного стекла.

Принцип работы сканера на основе отражения оптического пучка от зеркальной нелинейной поверхности показан на рис. 2.10. Оптический луч, падающий на нелинейную поверхность, отражается и фокусируется этой поверхностью. При сдвиге нелинейной поверхности по оси Y происходит изменение направления отраженного луча и, следовательно, его отклонение в некотором диапазоне углов при перемещении зеркала по одной из координатных осей. В начальном положении зеркала пучок отражается в точке $X = 0$. Пунктиром обозначен пучок, отраженный от сдвинутого по оси Y зеркала. Если провести касательную в точке пересечения падающего луча со сдвинутым зеркалом, то угол ее наклона относительно оси X будет равен требуемому углу сканирования.

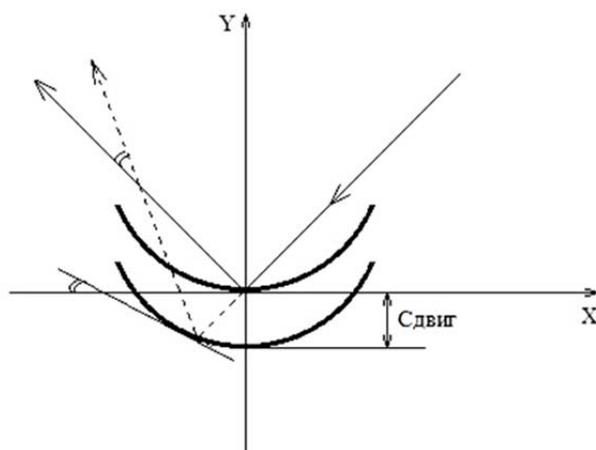


Рис. 2.10. Принцип сканирования пучка с помощью нелинейной отражающей поверхности

Проведен анализ работы двух схем микросканеров (рис. 2.11). В случае (а) излучение, поступающее из оптоволокна 1, отражается от вогнутого зеркала 2, при сдвиге которого отраженный пучок 3 меняет свое направление и становится пучком 4. В случае (б) необходимо использовать дополнительное неподвижное вогнутое зеркало 5, предназначенное для увеличения угла сканирования.

Изучение проводилось путем компьютерного моделирования. Созданная программа позволяла изменять такие параметры оптических систем, как радиус кривизны и размеры смещения зеркал, взаимное положение элементов, диаметр и апертуру волоконного источника света, положение и радиус кривизны дополнительного зеркала. Предусмотрены также возможности вычисления геометрического хода пучков из волокна при их отражении от одного или двух зеркал для двух позиций основного зеркала, начальной и смещенной, и построение картины трассировки лу-

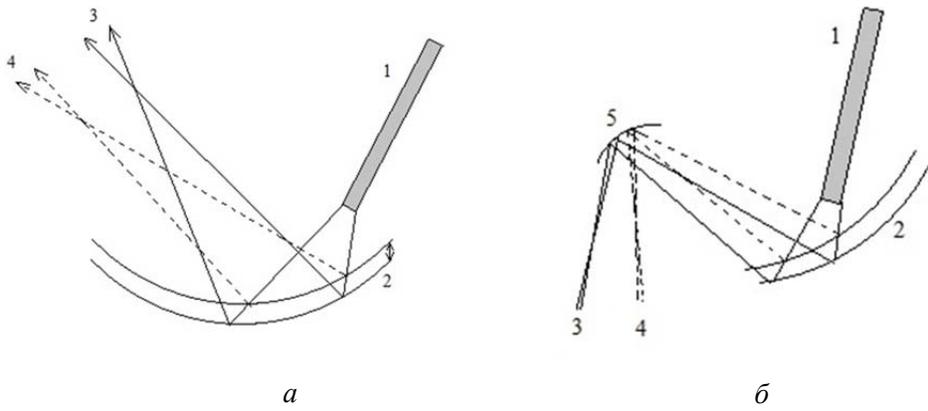


Рис. 2.11. Оптические схемы микросканеров для переключения оптоволоконных каналов: *а* – схема с одним подвижным вогнутым зеркалом; *б* – схема с двумя, подвижным и неподвижным, вогнутыми зеркалами

чей. По этим картинам оценивались угловые отклонения и изменения положения фокуса отраженного пучка при смещении зеркала. Необходимо было определить значения потенциально достижимых параметров сканирования пучков при изменении радиуса кривизны зеркал и геометрии оптической схемы (рис. 2.12).

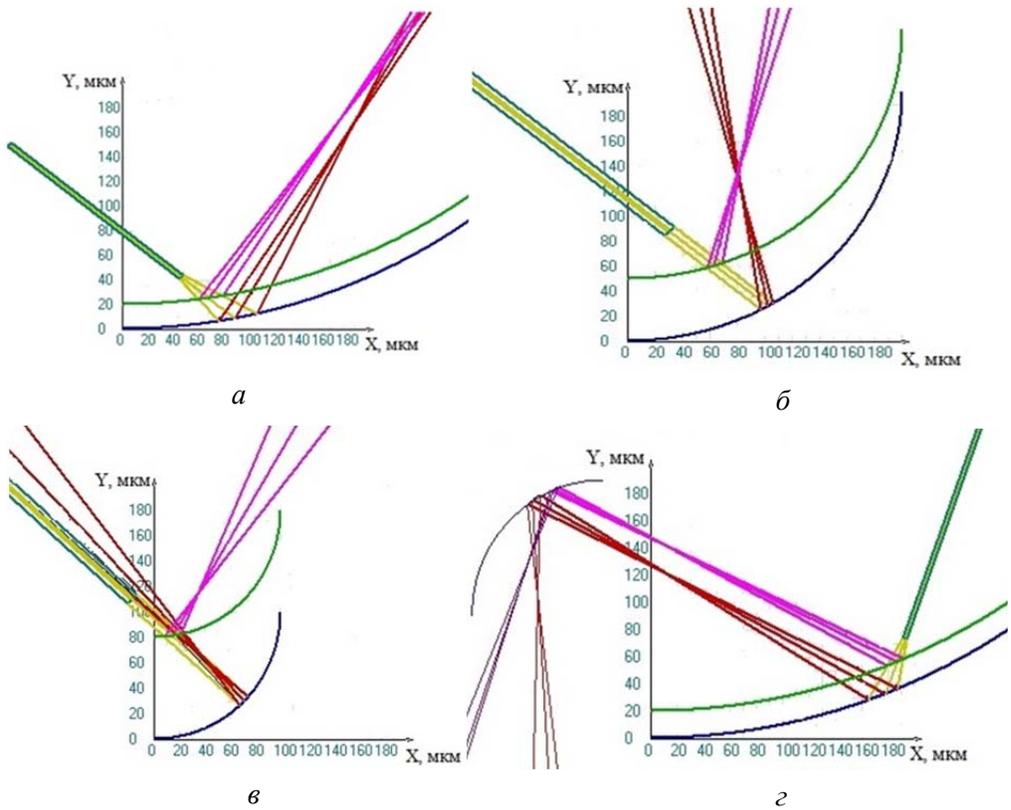


Рис. 2.12. Сканирование выходных пучков света из оптического волокна

На настоящем этапе работы проводился поиск схем оптических микросканеров с максимальными углами сканирования. В качестве рабочего пучка выбрано излучение с $\lambda = 532$ нм на выходе одномодового волокна 460HP фирмы Thorlabs с диаметром поля моды 3.5 мкм и числовой апертурой $NA = 0.13$.

Результаты моделирования показали, что при сканировании пучков на выходе волокна с помощью одного сферического зеркала с относительно большим радиусом кривизны наблюдается малое смещение сфокусированных пучков. В качестве примера на рис. 2.12, *а* показана трассировка лучей при перемещении на $\Delta y = 20$ мкм зеркала, имеющего радиус кривизны $R_1 = 500$ мкм. Такие значения смещения пучков (порядка 10 мкм) достаточны для переключения каналов в виде близко расположенных оптических волокон.

Установлено, что увеличение угла сканирования в первой оптической схеме микросканера (рис. 2.12, *а*) происходит при уменьшении радиуса кривизны зеркала и с увеличением амплитуды перемещения фокусирующего зеркала. На рис. 2.12, *б* показана трассировка лучей для случая параллельного пучка, получаемого на выходе волокна с помощью коллиматора типа CFS-18-532-FC фирмы Thorlabs, для зеркала с радиусом кривизны $R_1 = 200$ мкм и его перемещения на величину $\Delta y = 50$ мкм. Расчетное значение угла сканирования такой оптической схемы составляет уже 23° .

В предельном случае при падении коллимированного пучка по нормали к поверхности зеркала, как показано на рис. 2.12, *в*, для $R_1 = 100$ мкм и $\Delta y = 80$ мкм максимальный угол сканирования пучка стремится к 90° , когда $\Delta y = R_1$. Для сравнения, нужно отметить, что у большинства промышленных акустооптических сканеров максимальный угол отклонения оптических пучков составляет порядка 6° .

Путем моделирования установлено также, что для уменьшения в несколько раз значения перемещения управляющего зеркала с R_1 в схему должно быть введено второе зеркало с $R_2 < R_1$. Использование схемы с двумя, подвижным и фиксированным, сферическими зеркалами обеспечивает большие углы сканирования при меньших амплитудах перемещения подвижного зеркала по сравнению со схемой сканера с одним подвижным зеркалом. Так на рис. 2.12, *г* при радиусах кривизны зеркал $R_1 = 500$ мкм и $R_2 = 100$ мкм показан рассчитанный угол сканирования пучков, равный тем же 23° (см. рис. 2.12, *б*), получаемый при уменьшении величины перемещения управляющего зеркала в 2.5 раза.

Принцип работы микросканера проверен экспериментально на плоских голографических зеркалах, полученных в халькогенидных слоях состава $As_2S_3 \times As_2Se_3$ (толщина слоев 5 мкм, диаметр и фокусное расстояние зеркал 5 и 30 мм соответственно). При смещении зеркала на 2 мм сфокусированное пятно перемещалось на 5 мм, что соответствует углу сканирования порядка 10° . Вопросы, связанные с записью микросканера меньших размеров и их абберациями при сканировании сфокусированных зеркалами пучков, являются предметом последующих исследований.

Результаты по тематике исследований отражены в публикации [5].
(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Козик В.И., Твердохлеб П.Е. 3D оптические интегральные схемы ассоциативной памяти // Автометрия, 1993, № 3. С. 44–52.
2. Sanchez E., Waldmann M., Arnold C. Chalcogenide glass microlenses by inkjet printing // Applied Optics, 2011, v. 50, № 14. P. 1974–1978.
3. Wu T. and Hane K. Fabrication of a high-precision spherical micromirror by bending a silicon plate with a metal pad // Applied Optics, 2011, v. 50, № 27. P. 5321–5328.
4. Наливайко В.И., Абель О.Я. Сканер на основе плоской отражательной внеосевой параболы в халькогенидном слое // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2013, т. 5, № 1. С. 99–103.
5. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Спектральное согласование элементов интегрально-оптических устройств на основе халькогенидных стекол // Оптика и спектроскопия, 2015, т. 119, № 1. С. 147–150.

Разработка высокоскоростного многоканального анализатора эмиссионных спектров на основе линейки фотодетекторов БЛПП-2000 и интерфейса Gigabit Ethernet (ответственный исполнитель д.т.н. Лабусов В.А.).

В настоящее время для экспрессного и высокочувствительного определения содержания микропримесей в порошковых пробах расширяется использование сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектрометрии (САЭС) с введением порошка в электрическую дугу способом просыпки-вдувания. Ключевым параметром настройки спектрометра при реализации САЭС является длительность базовой экспозиции τ (далее – экспозиция). Она характеризует способность прибора регистрировать отдельные кратковременные вспышки (сцинтилляции) спектральных линий при испарении микрочастиц аналита, а их длительность и интенсивность – размер частиц. В литературе встречаются сильно различающиеся рекомендации по выбору оптимальной экспозиции. Показано, что зависимость отношения сигнала от вспышки к шуму (ОСШ) от τ имеет характерный максимум независимо от типа многоэлементного твердотельного детектора излучения (ТДИ), указывающий на искомое оптимальное значение τ_{opt} . При этом принятая модель поведения ОСШ и сделанные на ее основе выводы нуждались в экспериментальной проверке.

Цель выполненной работы – создание действующего макета высокоскоростного анализатора спектров и исследование с его помощью зависимости отношения сигнал/шум от времени базовой экспозиции линеек фотодетекторов при регистрации прямоугольных импульсов излучения искусственного происхождения и вспышек спектральной линии золота от порошковой пробы в электрической дуге.

ОСШ (или SNR – Signal to Noise Ratio) при регистрации вспышек находилось по формуле

$$SNR = \frac{n_{sc}}{\sqrt{i_{bk,d}\tau + \sigma_{rd}^2}}, \quad (2.3)$$

где $i_{bk,d}$ – сумма темнового тока ТДИ i_d и фототока от спектрального фона i_{bk} , σ_{rd} – СКО шума чтения ТДИ, n_{sc} – количество электронов, накопленное ячейкой ТДИ от вспышки за τ . Если вспышка имеет симметричную, например гауссову форму, то наибольшее значение n_{sc} достигается при совпадении ее центра с серединой времени экспозиции:

$$n_{sc,max} = \int_{-\tau/2}^{\tau/2} i_{sc}(t) dt, \quad (2.4)$$

где i_{sc} – фототок от вспышки спектральной линии, а t – время. Наименьшее значение n_{sc} получается при совпадении центра вспышки с началом экспозиции:

$$n_{sc,min} = \int_0^{\tau} i_{sc}(t) dt. \quad (2.5)$$

Если одиночной вспышке придать прямоугольную форму, то изменение фототока будет иметь вид:

$$i_{sc}(t) = \begin{cases} n_{sc}^{tot}/t_{HM}, & t \in [-t_{HM}/2; t_{HM}/2] \\ 0, & t \in (-\infty; -t_{HM}/2) \cup (t_{HM}/2; \infty) \end{cases}, \quad (2.6)$$

где t_{HM} – длительность прямоугольного импульса фототока от вспышки, n_{sc}^{tot} – общее количество фотоэлектронов, порожденных вспышкой в фотоячейке. Используя формулы (2.3–2.5), получим значения ОСШ:

$$SNR_{max} = \begin{cases} \frac{n_{sc}^{tot}\tau}{t_{HM}\sqrt{i_{bk,d}\tau + \sigma_{rd}^2}}, & 0 < \tau \leq t_{HM} \\ \frac{n_{sc}^{tot}}{\sqrt{i_{bk,d}\tau + \sigma_{rd}^2}}, & \tau > t_{HM} \end{cases} \quad (2.7)$$

$$SNR_{min} = \begin{cases} \frac{n_{sc}^{tot}\tau}{t_{HM}\sqrt{i_{bk,d}\tau + \sigma_{rd}^2}}, & 0 < \tau \leq t_{HM}/2 \\ \frac{n_{sc}^{tot}}{2\sqrt{i_{bk,d}\tau + \sigma_{rd}^2}}, & \tau > t_{HM}/2. \end{cases} \quad (2.8)$$

Таким образом, при $\tau \leq t_{HM}/2$ ОСШ не зависит от положения вспышки относительно экспозиции, в то время как при $\tau > t_{HM}/2$ зависит и максимальное ОСШ может вдвое превосходить минимальное.

Высокоскоростной анализатор МАЭС для спектрографа СТЭ-1 был создан по схеме с параллельным чтением линеек БЛПП-2000 в сборке. Для минимизации шумов чтения формирователь уровня управляющих сигналов, усилитель и АЦП расположены в непосредственной близости с кристаллом линейки. Анализатор состоит из многокристальной сборки (МС) линеек БЛПП-2000 и блока электронной регистрации (БЭР). МС состоит из нескольких однокристалльных линеек, расположенных на едином охлаждаемом основании, и платы мультиплексора. Излучение, падающее на фоточувствительную область МС, преобразуется линейками БЛПП-2000 в электрический сигнал и оцифровывается. Мультиплексирующая плата объединяет данные со всех линеек, передавая их в БЭР, который обеспечивает синхронную работу формирователей уровней всех линеек. Контроллер БЭР управляет работой прибора по командам компьютера. Для связи с ним использован сетевой интерфейс Gigabit Ethernet с передачей данных посредством протокола TCP/IP.

Установка для исследования ОСШ искусственной вспышки прямоугольной формы создана на основе спектрометра «Гранд», в нулевой порядок дифракции которого был установлен ТДИ, входящий в состав анализатора МАЭС. Для имитации спектрального фона дугового источника линейку постоянно и равномерно освещали светодиодом. Излучение другого светодиода, имитирующего вспышки спектральной линии аналита, направлялось на входную щель, изображение которой в нулевом порядке дифракции проецировалось на ТДИ. Амплитуда, ширина имитационной линии и уровень спектрального фона соответствовали реальным значениям, получаемым при анализе методом САЭС. Управление генерацией и синхронизацией вспышек светодиода производили МАЭС с программой «Атом». Выходные сигналы фотоячеек ТДИ измерялись в единицах накопленных ими фотоэлектронов (e^-). В качестве ТДИ использовалась опытная линейка БЛПП-2000 (количество фотоячеек 2048, высота ячейки 1 мм и ширина 14 мкм, $\sigma_{rd} - 30 e^-$, минимальная $\tau - 0.4$ мс).

Оптическая схема установки была настроена так, чтобы максимум интенсивности спектральной линии совпадал с центром одной из фотоячеек. Временные регистрограммы сцинтилляций от светодиода получали при τ от 0.4 до 4 мс в двух режимах синхронизации: в первом случае центр вспышки совпадал по времени с серединой τ , во втором – с началом τ . Вспышки светодиода имели продолжительность 1 мс, периодичность 30 мс, а интенсивность такую, чтобы сигнал более чем на порядок превышал утроенное значение СКО холостого сигнала. Экспериментальное значение ОСШ рассчитывалось как отношение амплитуды сигнала от вспышки к СКО сигнала во время ее отсутствия. Соответствующие экспериментальные и расчетные зависимости ОСШ от времени экспозиции для обоих режимов синхронизации показаны на рис. 2.13. Видно, что для лучшего обнаружения вспышки, не синхронизированной с ТДИ, время τ_{opt} нужно выбирать равным половине продолжительности вспышки. Вероятно, этот вывод, подтвержденный пока имитационным экспериментом, можно перенести и на реальные вспышки от порошковых проб с поправ-

кой на то, что их форма не прямоугольная, а скорее близка к гауссовой. Однако это необходимо и можно проверить на практике.

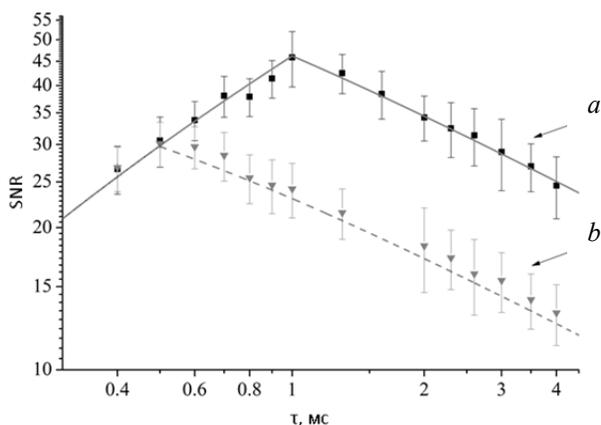


Рис. 2.13. Экспериментальные (точки) и теоретические (линии) зависимости ОСШ от времени экспозиции при регистрации прямоугольной вспышки длительностью 1 мс, центр которой совпадает: с серединой времени экспозиции (*a*), с её началом (*b*)

Вспышки частиц золота на линии Au 267.595 нм регистрировали на спектрографе СТЭ-1 одновременно в 4-м и 5-м порядках дифракции двумя линейками БЛПП-2000. При исследовании ОСШ линейка в 5-м порядке всегда регистрировала с фиксированным, минимально возможным для нее $\tau = 0.4$ мс, а у линейки в 4-м порядке τ варьировали от 0.4 до 4 мс. Порошковая технологическая проба «НК» с концентрацией золота 7 г/т вводилась в электродуговую установку «Поток» для анализа методом просыпки-вдувания. Условия возбуждения были типовые: графитовые электроды, переменный ток 22 А, частота 100 Гц. На рис. 2.14 показана полуценная зависимость для ОСШ вспышек линии золота.

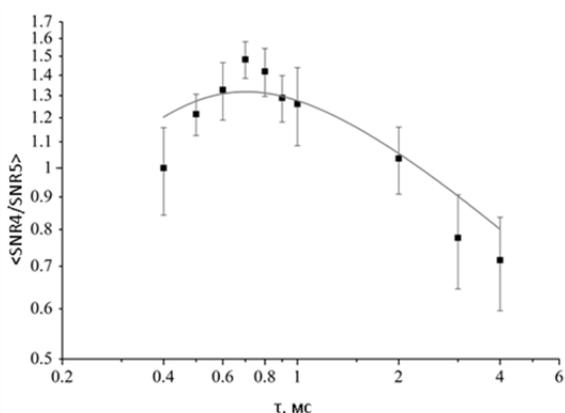


Рис. 2.14. Зависимость усредненного ОСШ от экспозиции при регистрации вспышек частиц золота с $t_{HM} \approx 0.8$ мс и нормировкой на ОСШ при минимальном $\tau = 0.4$ мс

Если начало времени экспозиции относительно максимума амплитуды вспышки равновероятно, то для вспышек прямоугольной формы можно аналитически получить значение τ_{opt} :

$$\tau_{opt} = \frac{1}{8} \left(3 + \sqrt{9 + 32 \sigma_{rd}^2 / (t_{HM} i_{bk,d})} \right) t_{HM} \quad (2.9)$$

Для вычисления τ_{opt} достаточно знать паспортные данные ТДИ, фототок спектрального фона i_{bk} и продолжительность вспышки. Подставив в (2.9) значения из нашего эксперимента: $t_{HM} = 0.8$ мс, $i_{bk} = 4500$ е⁻/мс, $\sigma_{rd} = 30$ е⁻, $i_d = 100$ е⁻/мс, получим $\tau_{opt} = 0.7$ мс, что соответствует положению максимума на рис. 2.14. Следовательно, эта формула вполне применима для реальных вспышек, форма которых близка к гауссовой.

Таким образом, получены уравнения для оценки отношения сигнал-шум вспышки спектральной линии, определяющего пределы обнаружения элементов периодической системы, и оптимального времени экспозиции многоэлементных твердотельных детекторов излучения по их паспортным данным, фототоку спектрального фона и продолжительности вспышки. Создан образец высокоскоростного анализатора спектров для спектрографа СТЭ-1, с помощью которого проведено исследование линейки фотодетекторов БЛПП-2000 в режиме сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа. Показано хорошее согласие экспериментальных зависимостей отношения сигнал-шум от времени базовой экспозиции с зависимостями, полученными расчётным путём.

(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Бабин С.А., Лабусов В.А., Селюнин Д.О., Дзюба А.А. Быстродействующие анализаторы МАЭС на основе линеек БЛПП-2000 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 108–113.
2. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Бабин С.А. Оптимизация базовой экспозиции твердотельного детектора излучения в сцинтилляционном атомно-эмиссионном спектральном анализе // Аналитика и контроль, 2015, т. 19, № 1. С. 6–12.
3. Лабусов В.А. Приборы и комплексы компании «ВМК-Оптоэлектроника» для атомно-эмиссионного спектрального анализа. Современное состояние // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 12–21.
4. Заксас Н.П., Веряскин А.Ф., Лабусов В.А. Аналитические зоны двухструйной дуговой плазмы: достоинства и ограничения // Там же. С. 48–52.
5. Бокк Д.Н., Лабусов В.А., Зарубин И.А. Определение неметаллических включений в металлических сплавах методом атомно-эмиссионной спектрометрии с искровым возбуждением // Там же. С. 92–97.
6. Путьмаков А.Н., Зарубин И.А., Бурумов И.Д., Селюнин Д.О. Спектрометр «Павлин» для атомно-эмиссионного спектрального анализа с атомизацией в пламени // Там же. С. 105–108.
7. Зарубин И.А., Лабусов В.А., Бокк Д.Н. Оптимальная система освещения входной щели многоканальных спектрометров «Гранд» и «Экспресс» // Там же. С. 114–116.
8. Путьмаков А.Н., Пелипасов О.В., Максимов А.Ю., Боровиков В.М., Чернов К.Н. Разработка источника СВЧ плазмы для атомно-эмиссионного спектрального анализа растворов // Там же. С. 117–121.

9. Гаранин В.Г., Неклюдов О.А., Петроченко Д.В., Семёнов З.В., Панкратов С.В., Ващенко П.В. Программное обеспечение атомно-эмиссионного спектрального анализа. Программа «Атом» // Там же. С. 121–127.
10. Панкратов С.В., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Ващенко П.В. Автоматическая градуировка спектрометров с анализаторами МАЭС по длинам волн (профилирование) // Там же. С. 128–134.
11. Семёнов З.В., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Ващенко П.В. Алгоритм обработки последовательностей спектров для сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа // Там же. С. 135–142.
12. Болдова С.С., Путьмаков А.Н., Лабусов В.А., Боровиков В.М., Селюнин Д.О., Бейзель Н.Ф., Гуськова Е.А. О создании прибора для одновременного многоэлементного атомно-абсорбционного спектрального анализа на основе спектрометра высокой дисперсии и источника непрерывного спектра // Там же. С. 148–153.
13. Ващенко П.В., Болдова С.С., Лабусов В.А. Алгоритм обработки последовательностей атомно-абсорбционных спектров с непрерывным источником излучения // Там же. С. 153–157.
14. Вьюхин В.Н. Анализ частотной погрешности измерения емкости полупроводниковых структур // Автометрия, 2015, т. 51, № 5. С.120–125.
15. Медведев Н.С., Путьмаков А.Н., Шаверина А.В., Цыганкова А.Р., Сапрыкин А.И. Снижение пределов обнаружения примесей при анализе высокочистых веществ методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 157–160.
16. Бокк Д.Н., Лабусов В.А., Зарубин И.А. Определение неметаллических включений в образце рельсовой стали методом АЭС с искровым возбуждением на вакуумном спектрометре «Гранд-Эксперт» // II Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием (г. Краснодар, Россия, 27 сентября – 3 октября 2015). С. 28.
17. Болдова С.С., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Ващенко П.В. Одновременный многоэлементный анализ природных и питьевых вод методом атомно-абсорбционной спектрометрии с источником непрерывного спектра // II Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием (г. Краснодар, Россия, 27 сентября – 3 октября 2015). С. 29.
18. Андросова Н.В., Зарубин И.А. Определение Са, К, Na и Ст в природных объектах на пламенном спектрометре «Павлин» // Там же. С. 232.
19. Лабусов В.А. Приборы компании «ВМК-Оптоэлектроника» для прямого атомно-эмиссионного спектрального анализа порошков, металлов и сплавов // Там же. С. 277.
20. Ващенко П.В., Лабусов В.А. Алгоритм обработки атомно-абсорбционных спектров с непрерывным источником излучения // XVI Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Красноярск, Россия, 28–30 октября 2015). С. 64.

Разработка оптимальных по точности алгоритмов обработки сигналов доплеровского ветрового лидара, основанного на гармонической амплитудной модуляции лазерного излучения, а также его узлов (ответственный исполнитель д.т.н. Соболев В.С.).

Предложен новый способ построения ветрового доплеровского лидара, основанного на гармонической модуляции мощности или поля зондирующего излучения [1]. Преимущество этого устройства перед известными состоит в том, доплеровская частота в этом случае определяется длиной волны модулирующей функции, а не лазера. Вследствие этого конструкция лидара упрощается: из нее исключается такой сложный и

прецизионный элемент, как интерферометр, а в качестве источника излучения может быть использован мощный лазер с низкой когерентностью.

С целью применения указанного лидара разработана методика оценки доплеровской частоты, пропорциональная измеряемой скорости ветра с максимально высокой точностью. Показано, что выходной сигнал лидара является нормальным случайным узкополосным процессом с функцией корреляции

$$K(kT) = \exp[-(\xi\omega kT)^2] \exp(-j\omega kT) + N_1\delta, \quad (2.10)$$

где ξ – известный параметр оптической схемы лидара, определяемый числом интерференционных полос в его измерительном объеме, ω – оцениваемая доплеровская частота, N_1 – мощность сопровождающего сигнал шума, δ – символ Кронекера, а kT – дискретное время ($k = 1, 2, \dots, n$). График этого сигнала, как функции времени, представлен на рис. 2.15.

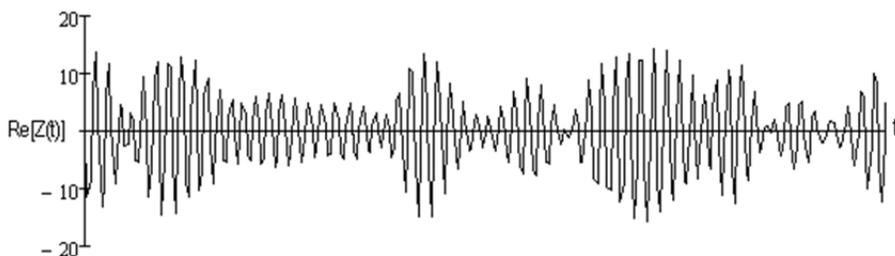


Рис. 2.15. График типового доплеровского сигнала

Исходя из (2.10), получено выражение для логарифма функции правдоподобия

$$\ln p(\mathbf{z} | \omega) = -\frac{\mathbf{z}^{Tr*} (\mathbf{R} + \mathbf{N}\mathbf{I})^{-1} \mathbf{z}}{\sigma^2} - \ln |\mathbf{R} + \mathbf{N}\mathbf{I}| + const, \quad (2.11)$$

где \mathbf{R} – матрица с элементами $\exp[-(\xi\omega kT)^2 - j\omega kT]$, \mathbf{z} – вектор-столбец отсчетов сигнала, \mathbf{N} – отношение шум-сигнал по мощности, \mathbf{I} – единичная матрица.

Потенциально высокие по точности оценки доплеровской частоты получаются путем поиска положения максимума функции правдоподобия на оси частот. Определены характеристики качества получаемых оценок доплеровской частоты. Эта задача решена путем математического моделирования указанного алгоритма. Полученные результаты моделирования в виде среднеквадратических отклонений (СКО) σ получаемых оценок частоты представлены на рис. 2.16. Графики построены как функции числа используемых отсчетов сигнала в отсутствие дополнительного шума m для наиболее распространенных времен корреляции сигнала, равных 3, 5, 10 и 20 доплеровских периодов. Степень влияния шума представлена в тех же координатах на рис. 2.17 при отношении сигнал/шум, равном 20 дБ.

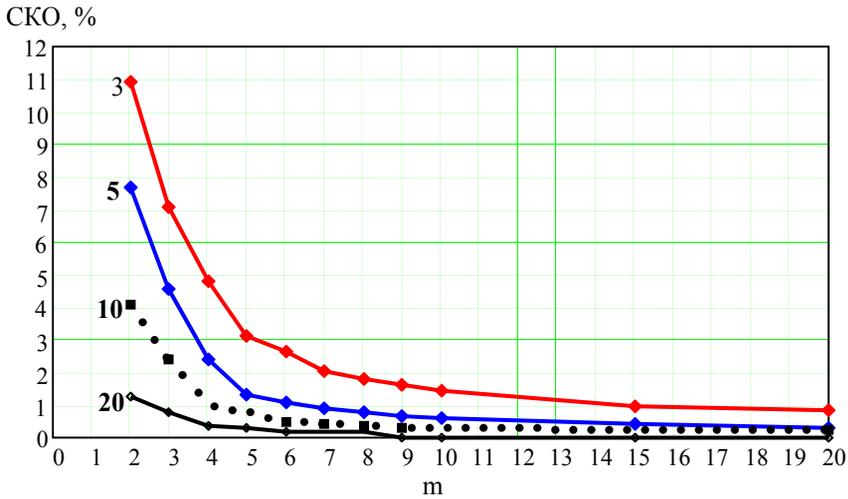


Рис. 2.16. График зависимости СКО максимально правдоподобных оценок частоты от количества используемых отсчетов доплеровского сигнала

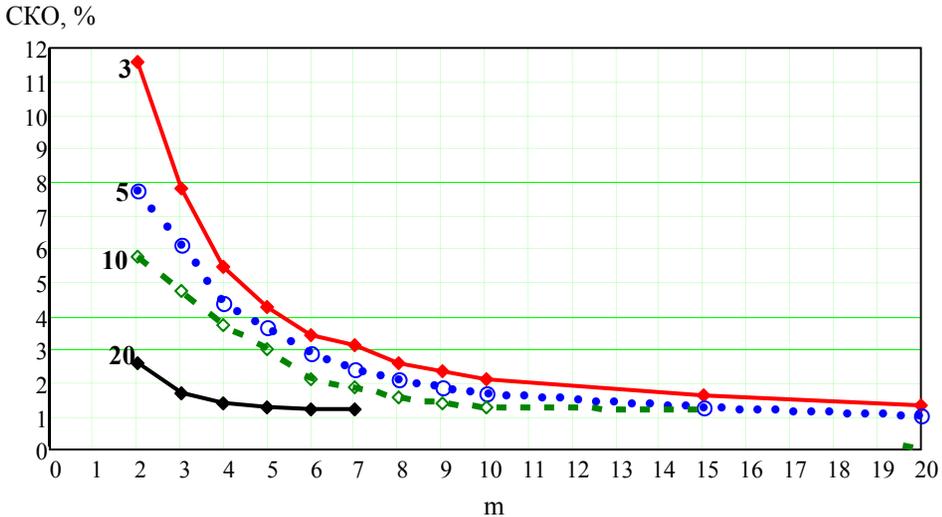


Рис. 2.17. График зависимости СКО максимально правдоподобных оценок частоты от количества используемых отсчетов доплеровского сигнала в присутствии аддитивного белого шума при отношении сигнал/шум 20дБ

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

а) Выборочные математические ожидания оценок скорости в пределах десятых долей процента соответствуют истинным значениям. Это означает, что полученные оценки не являются смещенными.

б) В отсутствие шума СКО частоты (скорости) практически не зависят от периода дискретизации сигнала.

в) С ростом числа используемых отсчетов сигнала СКО вначале резко уменьшается, а затем скорость уменьшения существенно снижается. Эту зависимость можно аппроксимировать двумя линейными приближениями: при росте числа отсчетов с 2 до 5 СКО линейно падают с

крутизной 2 % на отсчет, а после 5 – с крутизной 0.4 % на отсчет. В присутствии шума характер вышеуказанной зависимости не изменяется.

Предсказания теории и возможности практической реализации алгоритма подтверждены экспериментально. Полученные результаты могут найти применение при решении задач ближней радиолокации, дальнометрии и робототехники.

(Тематическая группа лазерных информационно-измерительных систем)

Публикации:

1. Титков В.И., Соболев В.С., Уткин Е.Н. Способ определения скорости и определения ветра и некогерентный доплеровский лидар. Патент на изобретение № 2545498 // // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», № 10.
2. Соболев В.С., Уткин Е.Н., Кашеева Г.А., Журавель Ф.А., Щербаченко А.М. Доплеровское смещение частоты модуляции лазерного излучения, рассеянного движущимся объектом // Оптика и спектроскопия, 2015, № 2. С. 307–311.
3. Соболев В.С., Кашеева Г.А., Журавель Ф.А. Оптимальные оценки скорости по критерию максимального правдоподобия для лазерной доплеровской анемометрии // Автометрия, 2015, т. 51, № 4. С. 92–103.
4. Соболев В.С. Сравнение границ Рао-Крамера и дисперсии максимально правдоподобных оценок центральной частоты узкополосного нормального случайного процесса // XI Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 1. С. 89–94.
5. Соболев В.С., Журавель Ф.А., Кашеева Г.А. Максимально правдоподобные оценки параметров сигналов лазерных доплеровских систем в присутствии аддитивного окрашенного шума // Там же. С. 116–123.
6. Соболев В.С., Журавель Ф.А., Кашеева Г.А. Сравнительный анализ алгоритмов сглаживания выбросов частоты сигналов лазерного доплеровского анемометра // XIII Международная научно-техническая конференция «Оптические методы исследования потоков» (Москва, Россия, 29 июня – 3 июля 2015), НИУ «МЭИ». Paper ID: 8-16. С. 449–455.
7. Соболев В.С., Уткин Е.Н., Кашеева Г.А., Журавель Ф.А., Щербаченко А.М. Доплеровское смещение частоты модуляции лазерного излучения, рассеянного движущимся объектом // Там же. Paper ID: 8-17. С. 456–463.
8. Соболев В.С., Журавель Ф.А., Кашеева Г.А. Оценки центральной частоты узкополосного случайного нормального процесса в присутствии аддитивного окрашенного шума // Там же. Paper ID: 8-18. С. 464–475.
9. Косцов Э.Г., Соболев В.С. Быстродействующий неохлаждаемый тепловой приемник излучения на основе тонких пироэлектрических пленок // Российская конференция по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника–2015» (г. Новосибирск, Россия, 12–16 октября 2015): тезисы. Новосибирск: ИФП СО РАН, 2015. С. 179.
10. Щербаченко А.М., Соболев В.С. Устройство преобразования сигналов интерферометра для высокоточных измерителей перемещений. Патент на полезную модель № 151073 Патент РФ на полезную модель №151073 // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели», № 8.

Исследование и разработка мощного перестраиваемого ИК-лазера на основе ПГС в кристалле LiNbO_3 с периодически-доменной структурой и накачкой пикосекундным Nd:YAG лазером, выполненным на основе нового метода модуляции добротности с синхронизацией мод (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Донин В.И.).

Интерес к параметрическим генераторам света (ПГС) в среднем ИК-диапазоне связан не только с их применением в различных практических областях (медицина, системы безопасности, зондирование атмосферы и т. д.), но и с исследованиями в области повышения чувствительности уже отработанных различных методов лазерной спектроскопии поглощения (фотоакустическая спектроскопия, CRD-спектроскопия и т. д.). Особый интерес в указанном направлении представляют работы по созданию мощных перестраиваемых ПГС с квазисинхронным типом фазового взаимодействия от нелинейных кристаллов ниобата лития с периодически ориентированной доменной структурой (PPLN) по причине их больших нелинейных коэффициентов, эффективности, сравнительно высоких порогов разрушения.

В настоящем разделе представлены результаты получения параметрической генерации от нелинейного элемента с квазисинхронным типом взаимодействия при синхронной накачке Nd:YAG-лазером. В качестве нелинейного элемента использовался допированный MgO (5 мол. %) кристалл PPLN (Z-срез) с размерами $5 \times 1 \times 20$ мм и с двумя «дорожками», имеющими период регулярной доменной структуры 29.5 и 30 мкм. Применялась однорезонаторная схема ПГС, накачка осуществлялась 45-пикосекундным Nd:YAG-лазером с модуляцией добротности и синхронизацией мод по методу СЗАОМ [1].

На рис. 2.18 представлена использовавшаяся в работе схема экспериментальной установки с однорезонаторным ПГС. Лазер накачки 1, выполненный по схеме 1, излучал на длине волны 1064.5 нм цуг импульсов с частотой повторения 1 кГц, длительностью цуга ~ 100 нс и отдельного импульса в цуге ~ 50 пс соответственно. Пиковая мощность составляла ~ 1 МВт. Падающая на PPLN кристалл мощность накачки плавно регулировалась с помощью поляризационного аттенюатора А.

Резонатор ПГС образован тремя зеркалами: 31, 32 и 33. Радиус кривизны зеркала 31 – 100 мм, коэффициент отражения в области 1.4–1.7 мкм $R_{1.4-1.7} = 99,5\%$, пропускание на 1.06 мкм – около 99 %. Радиус кривизны медного зеркала 32 – 125 мм; коэффициенты отражения: $R_{1.0-1.7} \approx 90\%$, $R_{3.0-4.0} \approx 97\%$. Плоское выходное зеркало 33 на подложке из ZnSe ($R_{1.2-1.7} = 99,5\%$) обладает высоким пропусканием на 1.06 мкм (78 %), в диапазоне 3.0–4.0 мкм (99,5 %). Зеркало 33 имеет возможность перемещения вдоль оси резонатора с помощью юстировочного устройства. Сапфировая пластинка П1 находится под углом, близким к нормальному падению относительно оси резонатора, и отражает около 15 % излучения из резонатора в монохроматор или на измеритель мощности. Германиевая пластинка П2 служит для селекции холостой длины волны.

Линзы Л1 и Л2 уменьшают расходимость лазера накачки 1. Линза Л3 (с фокусным расстоянием 250 мм) фокусирует излучение накачки в нелинейный кристалл PPLN. Диаметр луча накачки в перетяжке составил ≈ 60 мкм. Экран Э использовался для наблюдения режима суперлюминесценции, когда резонатор отсутствует и генерация возникает за один проход в нелинейном кристалле. Кристалл помещен в термостат, температура которого регулируется с помощью ПИД-регулятора.

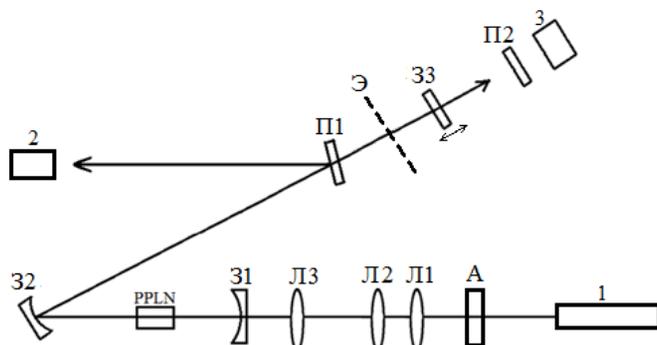


Рис. 2.18. Экспериментальная установка: 1 – Nd:YAG-лазер накачки; 2 – монохроматор МДР-23, 3 – измеритель мощности; А – поляризационный аттенуатор; Л1, Л2 – согласующие линзы; Л3 – фокусирующая линза; 31, 32, 33 – зеркала резонатора ПГС; П1 – сапфировая пластинка; П2 – германиевая пластинка; Э – поглощающий экран

При небольшом превышении порога генерации ПГС измерена зависимость его выходной мощности в относительных единицах от отстройки длины резонатора лазера накачки ΔL , представленная на рис. 2.19, где $\Delta L_n = 0$ соответствует «моноимпульсному» режиму генерации Nd:YAG-лазера, при котором более 95 % составляли одиночные пикосекундные импульсы, а 5 % – двойные. Поскольку при моноимпульсном режиме (пиковая интенсивность накачки доходила до ~ 6 ГВт/см²) образовывались серые треки в кристалле, которые увеличивали поглощение кристалла и уменьшался КПД преобразования, дальнейшие измерения проводились при отстройке выходного зеркала лазера накачки $\Delta L_n = 300$ мкм (статистика импульсов накачки – ~ 53 % одиночных, 37 % двойных и ~ 10 % тройных).

На рис. 2.20 представлены зависимости мощности сигнальной волны в ПГС – резонаторе $P_{\text{сигн}}$ (кривая 1) и выходной мощности холостой волны $P_{\text{хол}}$ (кривая 2) от средней мощности накачки с сапфировой пластинкой и зависимость выходной мощности холостой волны (кривая 3) без этой пластины при комнатной температуре на дорожке 30 мкм.

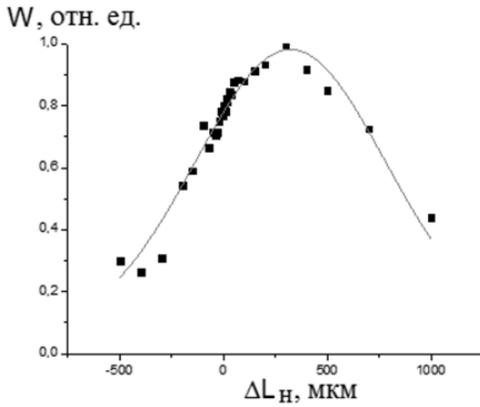


Рис. 2.19. Зависимость выходной мощности холостой длины волны от отстройки выходного зеркала резонатора лазера накачки ΔL_H

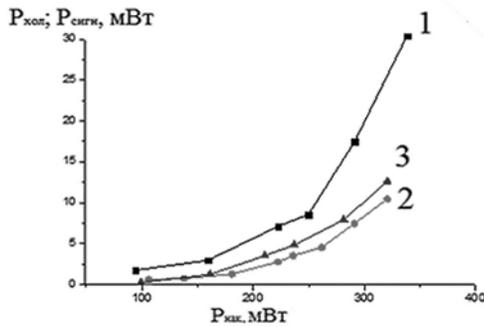


Рис. 2.20. Зависимость выходной мощности холостой волны $P_{хол}$ и мощности сигнальной волны в резонаторе $P_{сигн}$ от средней мощности накачки. 1, 2 – мощность сигнальной волны в резонаторе ПГС и выходная мощность холостой волны с пластинкой П1 соответственно; 3 – выходная мощность холостой волны без пластинки

Диапазоны перестройки длины волны 1.48–1.55 мкм и 3.4–3.8 мкм для сигнальной и холостой волн соответственно при изменении температуры кристалла от комнатной до 150°C. Пиковая мощность на холостой волне была на уровне ~70 кВт. Истощение накачки достигало ~ 50 %, эффективность преобразования по поглощенной мощности ~ 10 %.

(Тематическая группа мощных ионных лазеров)

Публикации:

1. Донин В.И., Яковин Д.В., Грибанов А.В. Структура пикосекундных импульсов генерации в диодно-накачиваемом Nd:YAG-лазере с модуляцией добротности и синхронизацией мод // Квантовая электроника, 2015, т. 45, № 12. С. 1117–1120.
2. Донин В.И., Яковин Д.В., Грибанов А.В. Самоорганизация режима Q-switch с одновременной синхронизацией мод в диодно-накачиваемом Nd:YAG-лазере // Письма в ЖЭТФ, 2015, т. 101, вып. 12. С. 881–884.

ПРОГРАММА II.10.2. Фундаментальные проблемы взаимодействия лазерного излучения с однородными и структурированными средами. Координатор акад. РАН А.М. Шалагин.

Проект II.10.2.2. Нелинейные и когерентные оптические явления при взаимодействии атомов и молекул с внешними полями и собственным излучением, с атомами другого сорта, наночастицами и поверхностью. № гос. рег. 01201372518.

Исполнители проекта:

Лаборатория нелинейной спектроскопии газов (ответственные исполнители: д.ф.-м.н. Ильичев Л.В., д.ф.-м.н. Пархоменко А.И., д.ф.-м.н. Насыров К.А., д.ф.-м.н. Чаповский П.Л.).

Лаборатория физики лазеров (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Сапрыкин Э.Г.).

Научный руководитель **акад. РАН Шалагин А.М.**

Изучение специфики простейших нелинейно-спектроскопических явлений в двухуровневой системе в поле с состоянием типа «кошки Шредингера» (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Ильичев Л.В.).

Рассмотрена схема контроля атомарного конденсата в цепи обратной связи. Конденсат в двухъямном потенциале ловушки помещён в одно из плеч интерферометра Маха–Цандера. Световой пучок интерферометра, далёкий по частоте от области поглощения, осуществляет фазовое зондирование конденсата в одной из ям, рождая информацию о числе атомов в этой яме. Излучение, регистрируемое в выходных портах интерферометра, модифицирует через цепь обратной связи параметры потенциала ловушки. Предсказано значительное влияние обратной связи на стационарные распределения атомов по ямам. Фазовым сдвигом во втором плече интерферометра можно эффективно управлять этими распределениями [1].

Исследована резонансная флуоресценция двухуровневого атома, помещенного в неклассическое поле, находящееся в суперпозиции когерентных состояний. В приближении сильного поля найдено стационарное состояние системы, а также вычислен спектр резонансной флуоресценции атома и проведено его сравнение с известной обычной ситуацией, когда поле, с которым взаимодействует атом, является классическим [2].

(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)

Публикации:

1. Tomilin V.A. and Il'ichov L.V. BEC Dynamics in a Double-Well with Interferometric Feedback (направлена в печать в "Annalen der Physik").
2. Tomilin V.A. and Il'ichov L.V. The Stationary Resonance Fluorescence of a Two-Level Atom in a Cat-State Field (подготовлена к печати).

Расчет по точным формулам классической механики относительной разности транспортных частот столкновений для ионов при их столк-

новениях с нейтральными частицами (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Пархоменко А.И.).

Исследован механизм сепарации химических элементов и изотопов в атмосферах химически пекулярных звезд (СР-звезды), обусловленный эффектом светоиндуцированного дрейфа (СИД) ионов. Эффективность процессов сепарации под действием СИД пропорциональна относительной разности транспортных частот столкновений ионов тяжелых элементов, находящихся в основном и возбужденном состояниях, с нейтральными буферными частицами (водородом и гелием). По известным потенциалам взаимодействия и по точным формулам классической механики численно рассчитана относительная разность транспортных частот столкновений для ионов Be^+ , Mg^+ , Ca^+ , Sr^+ , Cd^+ , Ba^+ , Al^+ и C^+ , находящихся в атомарном водороде. Расчеты показали, что при температурах $T = 7000\text{--}20000$ К, характерных для атмосфер СР-звезд, для относительной разности транспортных частот столкновений ионов достигаются значения 0.1–0.4. При такой относительной разности транспортных частот столкновений скорость СИД ионов в атмосферах холодных СР-звезд ($T < 10000$ К) может достигать значений 0.1 см/с. Это означает, что сепарация химических элементов под действием СИД ионов в условиях атмосфер холодных СР-звезд может быть на порядок более эффективна по сравнению с сепарацией, обусловленной световым давлением. В атмосферах более горячих звезд ($20000 \text{ К} > T > 10000 \text{ К}$) можно ожидать примерно одинаковую величину проявления эффектов СИД и светового давления. В очень горячих звездах ($T > 20000 \text{ К}$) эффект СИД проявляется очень слабо [1].

(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)

Публикации:

1. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Проявление эффекта светоиндуцированного дрейфа в атмосферах СР-звезд (подготовлена к печати).

Численное моделирование нелинейных оптических явлений в спектроскопии однонаправленных волн при снятии вырождения атомных уровней (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Сапрыкин Э.Г.).

Проведены аналитические и численные исследования влияния спонтанного распада по рабочему переходу на форму резонанса в работе пробного поля при действии сильного поля на том же переходе. Показано, что форма резонанса как для неподвижных, так и для движущихся атомов существенно зависит от соотношения между значениями релаксационных констант Γ_m , Γ_n -уровней и первого коэффициента Эйнштейна A_{mn} для рабочего перехода. При этом на переходах с долгоживущим нижним уровнем ($\Gamma_m \gg \Gamma_n$) возникающий в работе пробного поля узкий нелинейный резонанс может проявляться, в зависимости от знака величины $\Gamma_m - A_{mn} - \Gamma_n$, как в виде традиционного провала (при $\Gamma_m - A_{mn} > \Gamma_n$), так и в виде пика (при $\Gamma_m - A_{mn} < \Gamma_n$). В случае переходов с долгоживущим

верхним уровнем ($\Gamma_n \gg \Gamma_m$) узкий резонанс проявляется только в виде провала. Трансформация резонанса из провала в пик обусловлена спецификой релаксации биений населенности нижнего уровня на закрытом или почти закрытом переходе (распад верхнего уровня полностью или почти полностью происходит по рабочему переходу) [1]

(Лаборатория физики лазеров)

Публикации:

1. Сапрыкин Э.Г., Черненко А.А., Шалагин А.М. Роль спонтанного испускания по рабочему переходу в спектроскопии пробного поля двухуровневых систем (подготовлена к печати).

Исследование магнитооптических резонансов в оптических ячейках с антирелаксирующим покрытием для атомов со сверхтонкой структурой внутри доплеровского конуса линии (на примере атома калия) (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Насыров К.А.).

Разработана модель взаимодействия поляризованного излучения в оптических ячейках с антирелаксирующим покрытием стенок для исследования светоиндуцированной прозрачности (СИП). Эта модель применялась для разных конфигураций формирования СИП и разной эффективности оптической накачки, которая зависит от характеристик покрытия и энергетической структуры атомов. Она была апробирована в исследовании СИП с вырожденными Зеемановскими подуровнями в $^{39}\text{K D1}$ и Cs D2 линиях, которые демонстрируют почти пренебрежимую и относительно сильную оптическую накачку сверхтонкой структуры соответственно. Результаты сравнивались с экспериментальными данными, показывая хорошее согласие; в частности, в случае $^{39}\text{K D1}$ линии, контраст резонанса СИП остается высоким и в ячейках с антирелаксирующим покрытием. Это объясняется эффективной компенсацией оптической накачки при сверхтонком расщеплении сравнимого с доплеровским уширением линии [1–3].

(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)

Публикации:

1. Nasyrov K., Entin V., Nikolov N., Petrov N., Cartaleva S. Simple method for characterization of anti-relaxation coating of optical cells // Proc. SPIE, 9447, 2015. 18th International School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications (Sozopol, Bulgaria, September 29, 2014). P. 944704.
2. Насыров К.А. Метод расчета резонансов в ячейках с антирелаксирующим покрытием высокого качества // Автометрия, 2015, т. 51, № 2. С. 71–76.
3. Nasyrov K., Gozzini S., Lucchesini A., Marinelli C., Gateva S., Cartaleva S., Marmugi L. Anti-relaxation coatings in coherent spectroscopy: theoretical investigation and experimental test. // Phys. Rev. A, 2015, v. 92, iss. 4. P. 043803.

Разработка и создание установки для двухфотонного (780 нм + 480 нм) возбуждения атомов рубидия в ридберговские состояния излучениями непрерывных лазеров. Частоты возбуждающих излучений будут зада-

ваться прецизионной системой, имеющей точность на уровне 2 МГц (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Чаповский П.Л.).

Возбуждение ультрахолодных атомов в ридберговские состояния важно во многих задачах, например для создания взаимодействия кубитов на холодных атомах в квантовой информатике, для управления межатомным взаимодействием, для управления квантовым состоянием мезоскопических ансамблей и много другое. В 2015 году в ИАиЭ СО РАН была создана установка для двухфотонного возбуждения атомов рубидия в ридберговские состояния непрерывными излучениями с длинами волн 780 и 480 нм и выполнены первые эксперименты. Возможности установки протестированы в экспериментах по ридберговскому возбуждению атомов рубидия при комнатной температуре в режиме резонансов электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП). Схема важных для этого эксперимента уровней атомов ^{87}Rb представлена на рис. 2.21.

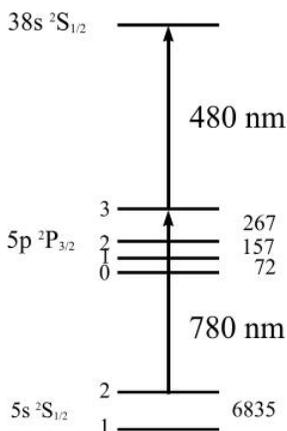


Рис. 2.21. Схема рабочих уровней атомов ^{87}Rb в эксперименте по регистрации резонансов ЭИП. Справа указаны величины сверхтонкого расщепления в МГц и длины волн возбуждающих излучений, слева – угловые моменты сверхтонких состояний и конфигурации атомных уровней

Схема установки представлена на рис. 2.22. Полупроводниковый лазер L780 с длиной волны 780 нм мог быть стабилизирован двумя способами: либо с помощью системы DAVLL (dichroic atomic vapour laser lock) с использованием доплеровски уширенных резонансов в парах рубидия, либо с использованием узкого резонанса насыщенного поглощения во встречных волнах на сверхтонком переходе $F_g = 2 \rightarrow F = 3$ линии D2 атома ^{87}Rb . Измерение частот излучений лазеров на 780 и 960 нм и управление частотой излучения лазера на 960 нм осуществлялось измерителем длин волн лазерного излучения WLM. Сигнал с детектора излучения D, пропорциональный интенсивности излучения 780 нм прошедшего через кювету с парами рубидия при комнатной температуре, регистрировался синхронным детектором SR830. Опорная частота вырабатывалась обтюратором, модулирующим интенсивность излучения 480 нм, либо сигналом модуляции частоты излучения лазера 780 нм.

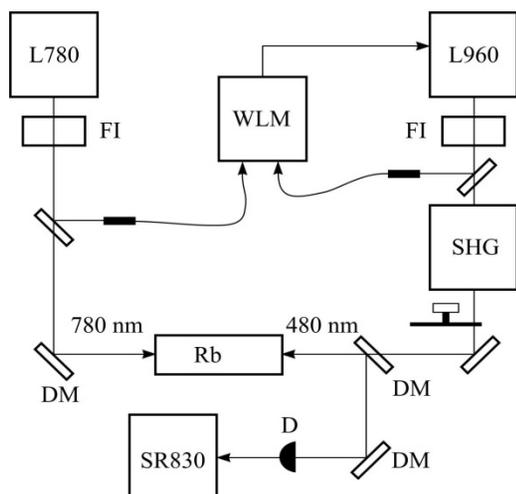


Рис.2.22. Схема экспериментальной установки для наблюдения резонансов ЭИП при двухфотонном возбуждении ридберговских состояний атомов ^{87}Rb . L780 и L960 – полупроводниковые лазеры с длинами волн излучения 780 и 960 нм соответственно; SHG – внутрирезонаторный удвоитель частоты излучения 960 нм \rightarrow 480 нм (модель FD-SF-07, Техноскан, Новосибирск); WS-U – измеритель длин волн лазерного излучения (модель WS-U, Ангстрем, Новосибирск); SR830 – синхронный детектор (Stanford Research System, USA); DM – дихроичные зеркала; FI – фарадеевский изолятор; D – детектор излучения 780 нм

Регистрация ЭИП резонансов осуществлялась двумя способами. В первом лазер на 780 нм стабилизировался с помощью системы DAVLL на центр перехода $F_g = 2 \rightarrow F = 3$ линии D2 атома ^{87}Rb . Предварительно калиброванный на длине волны 780 нм измеритель длин волн WLM осуществлял стабилизацию и сканирование частоты излучения лазера на 960 нм вблизи резонанса $5P_{3/2} \rightarrow 38S_{1/2}$. Значения частот излучения двух лазеров считывались программой LabView с измерителя длин волн WLM и записывались в файл данных. Пример записи зависимости интенсивности излучения 780 нм, прошедшего через кювету с парами рубидия, от частоты излучения 480 нм представлен на рис. 2.23, а. Узкий резонанс пропускания имеет ширину 9 МГц (FWHM). Центр резонанса находится на частоте второй гармоники излучения 960 нм, равной 623.088385 ТГц. Это значение оказалось примерно на 6.5 МГц больше значения частоты для ридберговского уровня ^{87}Rb : $38S_{1/2}$ ($F = 2$): 623.0883784(8), полученного в работе M.Mack, et al., Phys. Rev. A, **83**, 052515 (2011).

Пример ЭИП резонанса, записанного по второй схеме, представлен на 2.23, б. Здесь частота излучения лазера на 780 нм стабилизировалась на центр резонанса насыщенного поглощения на переходе $F_g = 2 \rightarrow F = 3$ линии D2 атома ^{87}Rb . Для этого частота излучения лазера на 780 нм модулировалась в небольших пределах на частоте 5 кГц для создания сигнала ошибки системы стабилизации. Сигнал модуляции служил в качестве опорного при синхронном детектировании. Такая схема регистрации ЭИП резонанса дает дисперсионную кривую (original на 2.23, б), которая является производной от резонанса ЭИП. Результат численного интегрирования дисперсионной кривой также представлен на 2.23, б (integral). Как на дисперсионной кривой, так и на проинтегрированной кривой видна узкая структура в центре, состоящая из двух провалов, расположенных симметрично относительно центра на расстоянии 3.4 МГц друг от друга. Центр ЭИП резонанса находится на частоте 623.088374 ТГц, а расстояние

между внешними экстремумами дисперсионной структуры составляет 9.6 МГц.

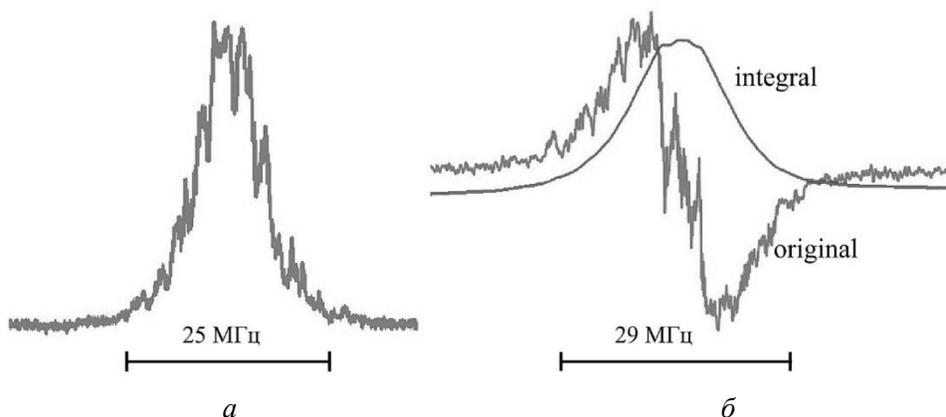


Рис. 2.23. Резонанс электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП) при ступенчатом возбуждении атомов ^{87}Rb на переходах $5S_{1/2} (F_g = 2) \rightarrow 5P_{3/2} (F = 3) \rightarrow 3S_{1/2} (F = 2)$. Частотные шкалы указаны для второй гармоники длиной волны 480 нм. *a* – ЭИП резонанс, зарегистрированный при модуляции интенсивности 480 нм; *б* – original – дисперсионный контур ЭИП резонанса, зарегистрированного при частотной модуляции излучения 780 нм, *integral* – результат интегрирования дисперсионного контура

Зарегистрированные ширины ЭИП резонансов примерно на два порядка уже доплеровских ширин каждого из каскадных переходов и примерно равны радиационной ширине первой ступени (6 МГц). Более того, внутренняя структура резонанса на рис. 2.23, *б* уже радиационной ширины на переходе $5S_{1/2} (F_g = 2) \rightarrow 5P_{3/2} (F = 3)$: 6 МГц. Следовательно, наблюдаемые нами резонансы обусловлены нелинейными эффектами. Анализ работы установки позволил сделать вывод о том, что основным источником шумов является сейчас недостаточная точность стабилизации частоты излучения лазера на 960 нм с помощью измерителя длин волн WS-U [1–5].

(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)

Публикации:

1. Ильичёв Л.В., Чаповский П.Л. Декогеренция атомарного конденсата в двухъямной ловушке при оптическом зондировании // Письма в ЖЭТФ, 2015, т. 102, вып. 1. С. 18–22.
2. Chapovsky P.L. Tunneling of open quantum systems: Nuclear spin isomers of molecules // XVIIth International Workshop on Quantum Atomic and Molecular Tunneling in Solids and other Phases (Beatenberg/Interlaken, Switzerland, 31 May – 3 June 2015). Book of Abstracts L-15.
3. Медведев С.Б., Лиханова Ю.В., Федорук М.Ф., Чаповский П.Л. Вариационный метод для нелинейного уравнения Шредингера с гармоническим потенциалом // VII Международная конференция «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике» (г. Новосибирск, Россия, 7–11 сентября 2015). Тезисы докладов. С. 42–43.
4. Лиханова Ю.В., Медведев С.Б., Федорук М.Ф., Чаповский П.Л. Численное моделирование поведения конденсата Бозе–Эйнштейна на основе трехмерного уравнения Гросса–Питаевского // Международная конференция «Актуальные проблемы вы-

числительной и прикладной математики 2015» (г. Новосибирск, Россия, 19–23 октября 2015),

ИВМиМГ СО РАН, 2015. Новосибирск: Абвей. С. 467–471.

5. Рябцев И.И., Тайченачев А.В., Чаповский П.Л. и др. Лазерное охлаждение атомов для применений в квантовой информатике и метрологии // Вестник РФФИ, 2015, № 4 (88). С. 29–41.

Проект П.10.2.3. Разработка методов лазерной модификации и синтеза объектов с неоднородной структурой, в том числе многослойной, для создания элементов дифракционной оптики, микроэлектроники, микромеханики и биохимических анализаторов. № гос. рег. 01201373321.

Исполнители проекта:

Лаборатория дифракционной оптики (ответственный исполнитель д.т.н. Полещук А.Г.).

Лаборатория лазерной графики (ответственный исполнитель к.т.н. Бессмельцев В.П.).

Научные руководители: д.т.н. Полещук А.Г., к.т.н. Бессмельцев В.П.

Разработка лазерного стенда для синтеза дифракционных микро-/наноструктур в полярной системе координат и методов формирования записывающего пучка малого размера. Разработка и исследование методов синтеза эталонных дифракционных элементов, в том числе в многослойных средах (ответственный исполнитель д.т.н. Полещук А.Г.).

Разработан стенд для синтеза дифракционных микро- и наноструктур ДОЭ в полярной системе координат [1–8]. На рис. 2.24 изображена функциональная схема стенда – прецизионной круговой лазерной системы записи (КЛЗС). Система состоит из следующих основных узлов: узел вращения, блок записи, узлы перемещения (оси X и Y). Узел перемещения по оси Y предназначен для позиционирования записывающего пучка в перпендикулярном направлении радиальной координаты с привода перемещения и измерительного устройства перемещения. Оптико-механические узлы расположены на гранитной плите.

Показано, что основным недостатком используемых методов изготовления внеосевых ДОЭ является их недостаточная точность, обусловленная отсутствием точного (погрешность не более 10–20 нм) совмещения точки начала системы координат системы позиционирования лазерного пятна с осью вращения оптической заготовки и дрейфом точки начала системы координат относительно оси вращения оптической заготовки на протяжении процесса записи.

Для обеспечения долговременной нанометровой точности позиционирования записывающего лазерного пучка предложено проводить записи одной или нескольких реперных структур в светочувствительном слое оптической заготовки с последующим использованием данных структур для определения абсолютной погрешности и динамической коррекции

позиционирования пучка лазерного излучения относительно положения оси вращения шпинделя, как вдоль радиального направления перемещения, так и поперек его в процессе записи ДОЭ.

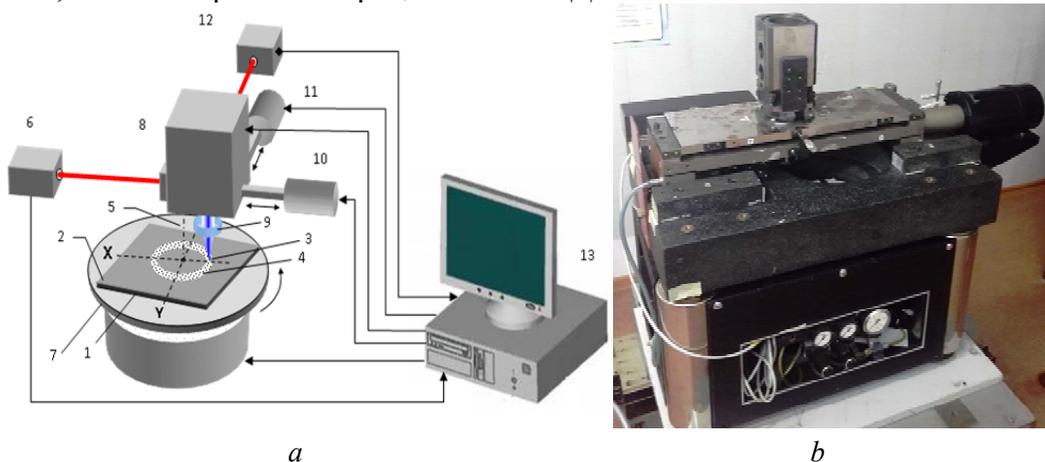


Рис. 2.24. Схема стенда (а) и его внешний вид (б): 1 – оптическая заготовка, 2 – светочувствительный слой, 3 – сфокусированный пучок, 4 – дифракционная структура, 5 – ось вращения оптической заготовки, 6 – лазерный интерферометр, 7 – шпиндель, 8 – блок записи, 9 – фокусирующий объектив, 10 – привод перемещения по оси X, 11 – привод перемещения по оси Y, 12 – измеритель перемещения по Y, 13 – управляющий компьютер

Разработаны и исследованы алгоритмы, реализующие поиск относительного положения оси вращения шпинделя и центра записывающего пятна и алгоритма динамической коррекции положения лазерного пятна в процессе записи ДОЭ. На рис. 2.25 приведены результаты сканирования реперной метки центра вращения с применением многопроходного алгоритма. Разработанный алгоритм позволил обеспечить погрешность совмещения оси вращения шпинделя и центра записывающего пятна менее 20 нм.

Метод долговременной коррекции системы позиционирования базируется на использовании функция коррекции расчетного расстояния от оси вращения шпинделя в зависимости от скорости дрейфа реперной структуры. Функция коррекции была реализована на основе метода стабилизирующей автоматической системы управления с параметризацией. В качестве входных параметров функция использует результаты измерения смещений реперной метки на предыдущих зонах записи ДОЭ. Выходным значением функции является аппроксимированная скорость коррекции смещения лазерного пучка на следующей зоне записи ДОЭ, которая используется для корректировки координат лазерного пучка до следующего измерения смещения реперной метки.

На рис. 2.26 приведен пример зависимости погрешности позиционирования от времени записи без коррекции (1) и с коррекцией (2). Время записи тестового ДОЭ составляло около 160 мин. ДОЭ был разбит на 16 зон. Видно, что без коррекции величина дрейфа составила около 0.8 мкм, а с введенной коррекцией не превысила 0.05 мкм.

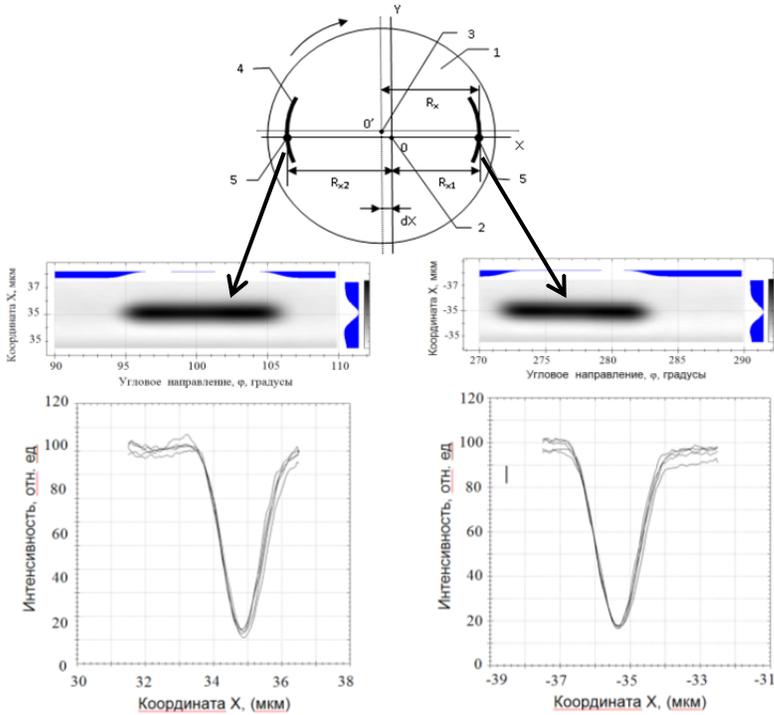
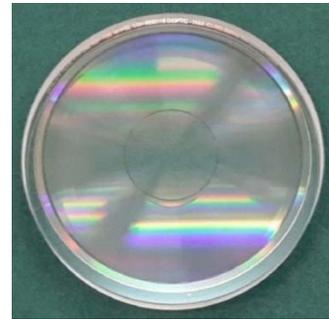
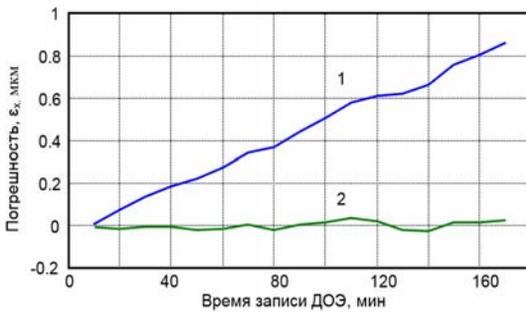


Рис. 2.25. Пример многопроходного сканирования реперной метки для определения оси вращения



а

б

Рис. 2.26. Пример зависимости погрешности позиционирования от времени (*а*) без коррекции (1) и с коррекцией (2) и синтезированная амплитудно-фазовая голограмма $D = 100$ мм (*б*)

В качестве апробации нового метода метода [9–13] на установке CLWS-300IAE был записан прецизионный элемент диаметром 100 мм. После изготовления было произведено измерение погрешности волнового фронта ДОЭ. В таблице 2.2 приведены параметры ДОЭ и результаты данной записи. Как видно, ошибка волнового фронта изготовленного ДОЭ не превышает 0.02λ по всему диапазону записи.

Таблица 2.2.

Диаметр подложки	Плоскостность подложки	Тип ДОЭ	Апертура ДОЭ	Точность изготовления	Минимальный период	Дифракционная эффективность
Ø 102 mm	0.068 / 0.0115 λ (PV/rms)	on-axis, phase	Ø 92 mm	0.01 λ (rms)	0.9 μm	~38.2 %

Для исследования дифракционной эффективности изготовленных ДОЭ разработан метод контроля пространственного распределения оптического излучения и устройство на его основе [14–16]. Устройство (рис. 2.27) позволяет производить оперативное измерение пространственного распределения интенсивностей дифракционных порядков по всей площади дифракционных оптических элементов с высокой точностью и скоростью в телесном угле вплоть до $\pm 80^\circ$ и 360° по азимуту для дифракционных оптических элементов, работающих как на пропускание, так и на отражение падающего излучения.

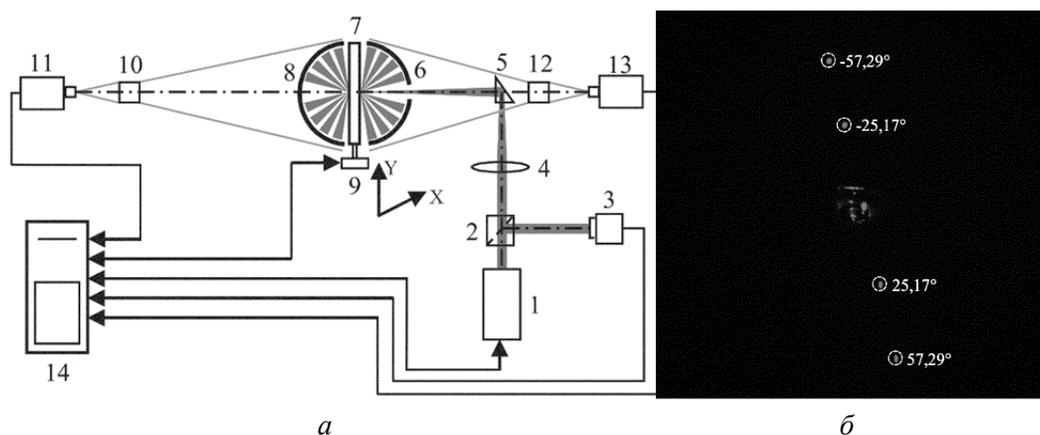


Рис. 2.27. Упрощенная оптическая схема устройства для контроля ПР ДП (а) и пример углового распределения исследуемого ДОЭ (б): 1 – лазерный модуль, 2 – светоделительная пластинка, 3 – фотоприёмник, 4 – фокусирующая линза, 5 – прямоугольная призма, 6 – рассеивающий экран с отверстием, 7 – ДОЭ, 8 – рассеивающий экран без отверстия, 9 – XY координатная система, 10 и 12 – объектив, 11 и 13 – видеокамера, 9 – управляющий компьютер

Разработан и исследован метод прямой лазерной термохимической записи полутоновых микроизображений в тонких пленках хрома [3]. Метод включает в себя экспонирование пленки хрома сфокусированным лазерным пучком с изменяющейся мощностью и проявку в селективном травителе. Получен диапазон изменения пропускания более 100 раз. Нелинейность зависимости пропускания пленки хрома от мощности экспонирующего пучка устраняется программной коррекцией. На рис. 2.28 приведена фотография и график пропускания полутоновой структуры в пленке хрома. Экспериментально изготовлены образцы раstra (64×64 , шаг 176 μm) апертур (36 μm) с полутоновым гауссовым пропусканием.

Изготовленный растр применен в модифицированном датчике волнового фронта типа Шака–Гартмана.

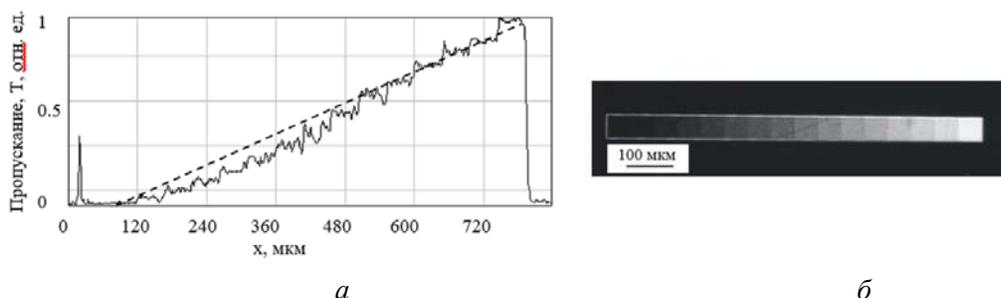


Рис. 2.28. Фотография и график пропускания полутоновой структуры в пленке хрома

Предложен, исследован и экспериментально изучен метод контроля пространственного разрешения и чувствительности датчиков данного типа [18–19]. Метод основан на формировании и измерении исследуемым датчиком формы монохроматического волнового фронта с линейной частотной пространственной модуляцией фазы, а также без этой модуляции. Модулированные и немодулированные волновые фронты формируются путем введения непрозрачной полуплоскости в поле плоской.

(Лаборатория дифракционной оптики)

Публикации:

1. Шиманский Р.В., Полещук А.Г., Корольков В.П., Черкашин В.В. Методы увеличения точности нанопозиционирования в системах синтеза дифракционной оптики // XI Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», вып. 5, т. 1. С. 128–131.
2. Полещук А.Г., Корольков В.П., Шиманский Р.В., Черкашин В.В. Способ изготовления дифракционного оптического элемента (ДОЭ). Патент на изобретение № 2540065 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2015, № 3.
3. Полещук А.Г., Корольков В.П., Седухин А.Г., Саметов А.Р., Шиманский Р.В. Прямая лазерная запись в плёнках хрома полутоновых микроизображений с большим динамическим диапазоном // Автометрия, 2015, т. 51, № 3. С. 87–93.
4. Chugui Y.V., Verkhoglyad A.G., Zavyalov P.S., Sysoev E.V., Kulikov R.V., Vykhristyuk I.A., Zavyalova M.A., Poleshchuk A.G., Korolkov V.P. Optical measuring and laser technologies for scientific and industrial applications // Int. J. of Automation Technology, 2015, v. 9, № 5. P. 515–524.
5. Полещук А.Г., Корольков В.П., Бессмельцев В.П., Никоноров Ю.Н., Карван А.Л., Верхогляд А.Г. Прецизионный лазерный технологический комплекс для производства оптических элементов нового поколения на основе лазерной трехмерной микро и нанообработки // XII Международная конференция «Голография, Наука и практика», «ГолоЭкспо–2015» (г. Казань, Россия, 12–15 октября 2015). Сборник трудов. С. 38–42.
6. Полещук А.Г., Седухин А.Г. Оптимизация параметров высокоапертурного дифракционно-рефлекторного объектива // Там же. С. 319–321.
7. Полещук А.Г., Корольков В.П., Насыров Р.К. Дифракционные оптические элементы для управления параметрами лазерного излучения и прецизионного контроля формы

- асферических поверхностей, Круговая лазерная записывающая система для изготовления ДОО на сферических поверхностях // XI Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 2. С. 232–238.
8. Достовалов А.В., Корольков В.П., Бабин С.А. Создание периодических самоориентирующихся структур на поверхности никеля и титана фемтосекундным излучением // VI Всероссийская конференция «Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине – CLAPT 2015» (г. Новосибирск, Россия, 24–27 марта 2015), т. 1. С. 89–92.
 9. Rees P.C.T., Mitchel J.B., Volkov A., Asfour J.-M., Weidner F., Poleshchuk A.G., Nasyrov R.K. The use of diffractive imitator optics as calibration artefacts // Proceedings of SPIE, v. 9575 (SPIE, Bellingham, WA 2015). Optical Manufacturing and Testing XI, Oliver W. Föhnle; Ray Williamson; Dae Wook Kim, Editors. P. 957516.
 10. Полещук А.Г., Маточкин А.Е., Черкашин В.В., Хомутов В.Н. Интерферометр Физо с дифракционными эталонными сферами для контроля асферической оптики // XII Международная конференция «Голография, Наука и практика», «ГолоЭкспо–2015» (г. Казань, Россия, 12–15 октября 2015). Сборник трудов. С. 172–175.
 11. Полещук А.Г., Насыров Р.К., Маточкин А.Е., Хомутов В.Н., Черкашин В.В., Качк А.Е., Верхогляд А.Г., Касторский Л.Б., Михалкин В.М. Разработка интерференционно-голографической ИК системы контроля формы центрального параболического зеркала космического телескопа обсерватории «Миллиметр» // XI Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 5, № 1. С. 51–58.
 12. Nasyrov R.K., Korolkov V.P., Poleshchuk A.G., Semenov A.P., Patrikeev V.E., Abdulkadyrov M.A. Cross-certification of the diffractive corrector by diffractive imitator for Russian 6-m Large Altazimuth Telescope // EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2015 (Munich, Germany, June 22–25). CD of abstracts.
 13. Poleshchuk A.G., Asfour J.-M., Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Frank W. Measurement of aspheric and freeform optical surfaces with Diffractive Null Lenses with and without integrated Fizeau reference surface // Там же. https://www.conftool.com/wpc2015-eosconferences/index.php?page=browseSessions&print=head&form_session=22
 14. Белоусов Д.А., Полещук А.Г., Хомутов В.Н. Контроль пространственного распределения оптического излучения, прошедшего и отражённого от дифракционной структуры // Компьютерная оптика, 2015, т. 39, № 6. С. 678–686.
 15. Белоусов Д.А., Полещук А.Г., Хомутов В.Н. Устройство для измерения индикатрисы рассеяния света структурированными поверхностями // XI Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 2. С. 128–131.
 16. Полещук А.Г., Хомутов В.Н. Устройство для регистрации индикатрисы рассеяния излучения от контролируемой поверхности. Патент на полезную модель № 157299 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2015, № 33.
 17. Poleshchuk A.G. and Sedukhin A.G. Diffraction technique for testing the resolution and sensitivity of Hartmann and Shack–Hartmann sensors // Optics Letters, 2015, v. 40, № 21. P. 5050–5053.
 18. Trunov V.I., Poleshchuk A.G., Sedukhin A.G., Frolov S.A., Ivanova K.A. Optimization of Shack-Hartmann sensor parameters for high-resolution measuring beam inhomogeneities of high-power femtosecond lasers // XII International Conference “Atomic and molecular pulsed lasers” (Tomsk, Russia, September 4–18, 2015) Conference Abstracts, C-9,74.

Исследование и разработка методов скоростной трехмерной обработки диэлектрических кристаллических и аморфных материалов фемтосекундным лазерным излучением с высокой частотой повторения. Разработка моделей режимов обработки с минимальными микродефектами (ответственный исполнитель к.т.н. Бессмельцев В.П.).

Проведено экспериментальное исследование условий образования сколов и трещин на поверхности хрупких материалов при обработке фемтосекундными импульсами при использовании неоптимальных режимов записи. Так как в настоящее время отсутствует теоретическое описание процесса возникновения микросколов и микротрещин при фемтосекундной лазерной обработке, показано, что наиболее адекватным методом оптимизации режимов лазерной обработки является метод планирования экспериментов.

В рамках настоящего проекта проведено исследование влияния энергии импульсов, перекрытия импульсов и количества проходов на показатели качества и размеры микроканалов, формируемых на поверхности стекла фемтосекундными лазерными импульсами (1026 нм, 232 фс, размер пятна фокусировки 5 мкм).

Экспериментальная установка и тестовые эксперименты.

Эксперименты проводились на лазерной фемтосекундной технологической системе записи с комплементарным модулем позиционирования лазерного луча (ФПЛ). Структура канала записи на основной гармонике лазера представлена на рис. 2.29. Излучение фемтосекундного иттербиевого лазера (Pharos 9W, Light Conversion LTD) с длиной волны 1026 нм, длительностью импульса 232 фс, частотой импульсов 1–200 кГц, с энергией импульса до 200 мкДж, пройдя систему поворотных зеркал, с помощью гальванометрических сканеров и f-theta линзы фокусировалось на поверхность стекла ВК-7 в пятно размером 5 мкм. С помощью системы технического зрения (видеокамера) выполнялись совмещения плоскости фокусировки с поверхностью образца.

Для построения статистической зависимости показателей качества микроканалов от технологических параметров проведен полный факторный эксперимент D1 в широком диапазоне параметров обработки: шаг по перекрытию 3 %, по энергии 0.68 мкДж. Факторами являются: энергия импульсов (E), перекрытие импульсов (O), количество циклов обходов прямоугольника, в дальнейшем называемых проходами (N). Для верификации статистических зависимостей показателей качества от технологических параметров проведены дополнительно два полных факторных эксперимента D2 (при большем числе проходов) и D3 (при промежуточных значениях энергии, шаг по энергии 0.23). Для тестирования воспроизводимости лазерной микрообработки в серии D3 дублировались эксперименты при значениях энергий 1.59; 2.27 мкДж.

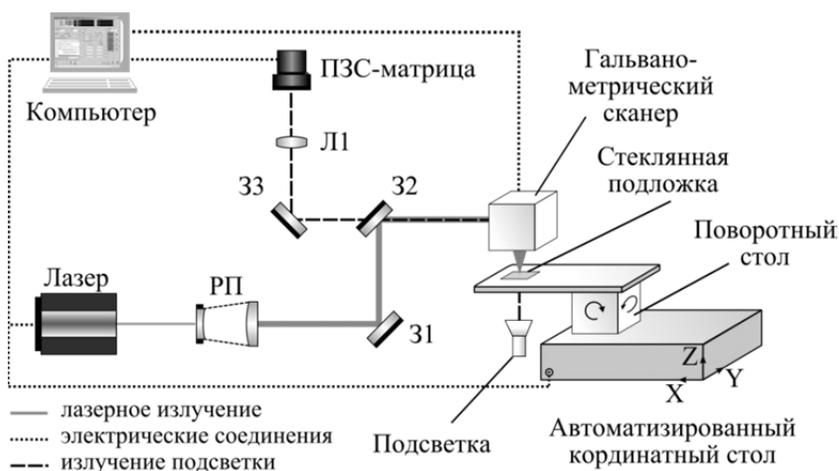


Рис. 2.29. Схема оптического канала системы ФПЛ

Для построения зависимости глубины от перекрытия, энергии импульсов и количества проходов использован метод полиномиальной регрессии. Данные экспериментов аппроксимировались с помощью двух моделей: M1 – стандартной квадратичной модели, используемой во многих исследовательских работах, и более сложной полиномиальной модели M2, предполагающей квадратичное взаимодействие между всеми факторами.

Анализ данных измерений.

Для ускорения процесса использованы специальные алгоритмы обработки изображений и оптические методы измерения, т. к. они позволяют измерять большие площади $>10 \times 10 \text{ мм}^2$ с субмикронным разрешением за время порядка часа без повреждения поверхности образца. Измерения проведены на разработанной в ИАиЭ профилометрической системе на основе конфокального хроматического сенсора CL1 MG-210 (оптическое латеральное разрешение – 0.9 мкм, по Z – 10 нм) и на конфокальном микроскопе Sensofar Neox (50X, NA = 0.8) с латеральным разрешением до 100 нм. Определение геометрических параметров объектов проводилось автоматически с помощью двух разработанных в процессе исследования алгоритмов: высокоточного совмещения карты высот измеренных данных с САД-моделью обработки и алгоритма поточечного выделения границ микроканалов, что сильно ускорило процесс измерения и уменьшило статистические погрешности, характерные для измерений «вручную» оператором.

По данным экспериментов D1 для моделей M1, M2 с помощью метода полиномиальной регрессии определены коэффициенты и проведена оценка качества аппроксимации данных D1, D2, D3 по характеристикам: коэффициент детерминации (R2), средняя погрешность аппроксимации Da (мкм), Da (%), максимальная погрешность аппроксимации Dmax (мкм), Dmax (%).

На рис. 2.30 показаны точки экспериментов и полученные полиномиальные кривые.

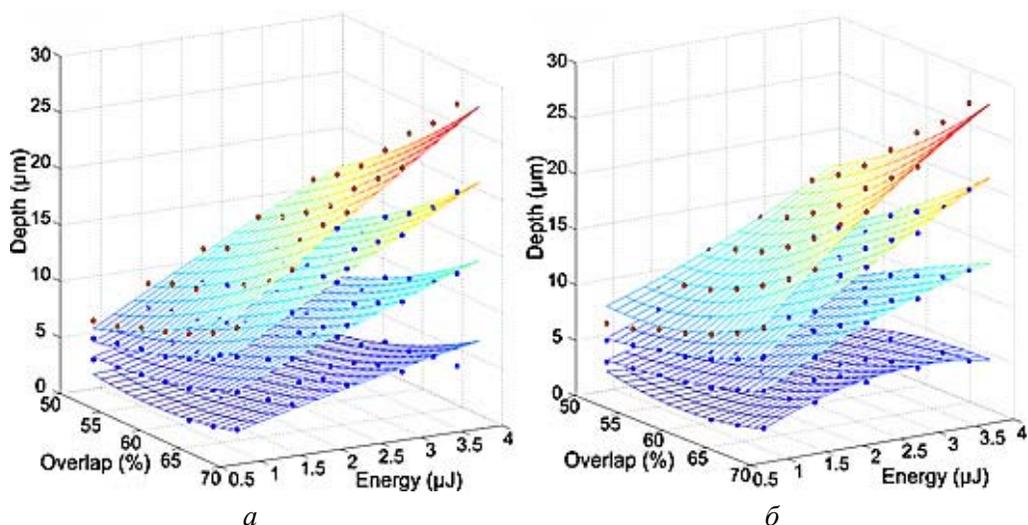


Рис. 2.30. Точки экспериментов и полиномиальные кривые, полученные с помощью полиномиальной регрессии по данным D1 эксперимента с помощью M1 (а) и M2 (б) моделей соответственно. Синие точки – эксперименты D1; красные (верхний слой) – эксперименты D2. Видно, что полученные модели хорошо описывают экспериментальные данные

Проведено исследование эффективности применения полученных оценок при формировании сеток для оптических приборов и биочипов на поверхности стекла.

Проведена серия экспериментов по записи основ для биочипов при перекрытии импульсов, высокая производительность записи, при энергиях импульсов $E = 0.91, 1.82, 2.73, 3.64$ мкДж и количестве проходов $N = 1, 4, 8$. Изображение полученного микроканала, а также результат совмещения с САD-моделью приведены на рис. 2.31, видно хорошее соответствие заданной геометрии. На рис. 2.32 приведены 3D-модели фрагментов микроканалов.

Для оптимизации режимов высокоскоростной (более 50 кГц) фемтосекундной лазерной микрообработки ВК7 стекла применены метод планирования экспериментов и алгоритмы обработки изображений. С помощью разработанных алгоритмов и программных комплексов проводилось выделение границ микроканалов, определение средней глубины, шероховатости дна и прямолинейности границ. Получена регрессионная модель, которая применима для получения микроканалов и сложных сеток с глубинами в диапазоне 1–30 мкм со средней погрешностью, не превышающей 10%. Показано применение полученных результатов для получения сложных структур с высокими показателями качества без постобработки (минимальное количество сколов, $Ra < 0.3$ мкм) при производительности, достигающей $0.3 \text{ мм}^3/\text{мин}$.

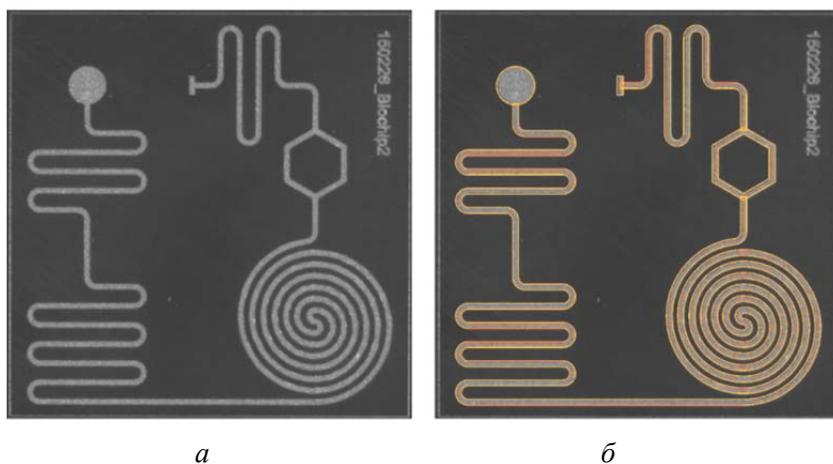


Рис. 2.31. Биочип на BK-7 стекле, созданный ФС лазером:
a – изображение, полученное с помощью высокоразрешающей видеокамеры IDS 10 Мп, 3.3 мкм разрешение в плоскости изображения; *б* – совмещение с САD-моделью обработки

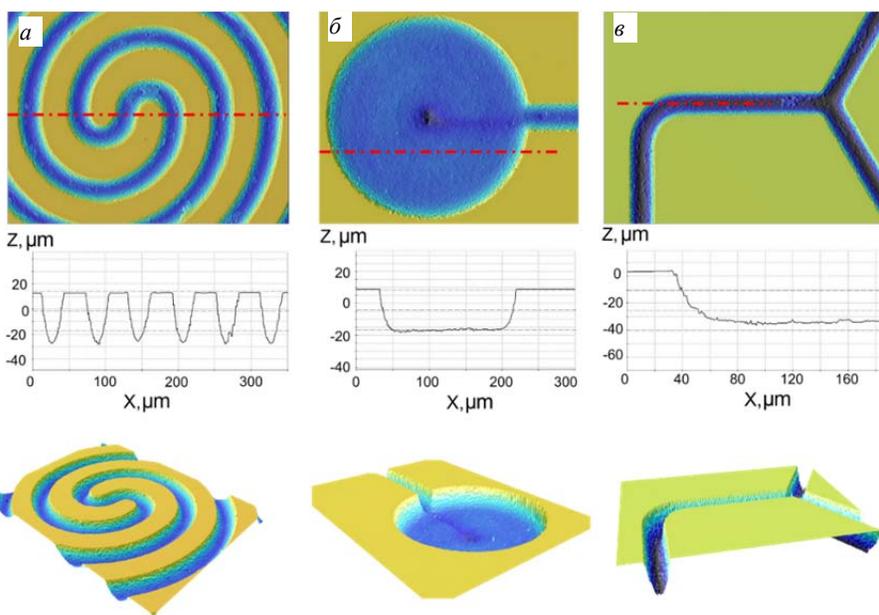


Рис. 2.32. Микроканалы, сформированные фемтосекундным лазерным излучением. Для (*a*) и (*в*) параметры записи: 65 % перекрытие, $E = 3.64$ мкДж, $N = 8$ проходов, ширина линий 30 мкм, глубина 39 мкм. Шероховатость дна (R_a) 0.4 мкм. Для (*б*) – 65% перекрытие, $E = 1.82$ мкДж, $N = 8$ проходов, глубина 26.8 мкм

(Лаборатория лазерной графики)

Публикации:

1. Бессмельцев В.П., Достовалов А.В. Лазерные технологии формирования сеток // Контенант, 2015, т. 14, № 1. С. 28–32.
2. Дьякова И.И., Лелянов А.Б., Бабин С.А., Бессмельцев В.П., Достовалов А.В. Технология нанесения сеток методом прожигания лазером, заполнения запуском, нанесе-

ния рисунка на металлическом покрытии и исследование повреждений стеклянной подложки // Там же. С. 92–94.

3. Бессмельцев В.П., Полещук А.Г., Корольков В.П., Никаноров Ю.Н., Карван, А.Л., Верхогляд А.Г. Прецизионный лазерный технологический комплекс для производства шкал, сеток, фотшаблонов и синтезированных голограмм на основе лазерной трехмерной микро- и нанообработки // XII Международная конференция «Голография, Наука и практика», «ГолоЭкспо–2015» (г. Казань, Россия, 12–15 октября 2015). Сборник трудов. С. 38–43.
4. Бессмельцев В.П., Лоншаков Е.А. Устройство контроля положения плоскости изделия для систем автофокусировки. Патент на полезную модель // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2015, № 1.
5. Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Горяев Е.П. Устройство для считывания линейных штриховых кодов. Патент на полезную модель № 150406 // Там же, № 5.
6. Булушев Е.Д., Шоев С.А. Программа для контроля качества прецизионной лазерной микрообработки оптических элементов (формирования сеток, масок, шкал) Profilometer C A18 // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015616114, зарег. 29.05.2015.

Проект II.10.2.4. Генерация и нелинейное преобразование лазерного излучения в структурированных волоконных и планарных световодах. № гос. рег. 01201364502.

Исполнители проекта:

Лаборатория волоконной оптики (ответственные исполнители: чл.-корр. РАН Бабин С.А., д.ф.-м.н. Каблуков С.И., к.ф.-м.н. Лобач И.А.).

Тематическая группа нелинейной оптики (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Подивиллов Е.В.).

Лаборатория фотоники (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Шапиро Д.А.).

Научный руководитель **чл.-корр. РАН Бабин С.А.**

Исследование и оптимизация спектральных характеристик волоконных СРОС-лазеров, генерирующих на разных длинах волн (ответственные исполнители: чл.-корр. РАН Бабин С.А., д.ф.-м.н. Подивиллов Е.В.).

Для описания спектральных характеристик волоконных лазеров со случайной распределенной обратной связью (СРОС) из-за рэлеевского рассеяния на естественных неоднородностях световода применена нелинейная кинетика волновой турбулентности. Традиционный подход волновой кинетики используется для описания медленной эволюции системы к равновесному состоянию за счет нелинейного взаимодействия большого количества волн. Однако существует класс открытых циклических систем, в которых эволюция происходит периодически с существенным изменением состояния системы внутри одного периода. Типичным примером являются волоконные лазеры, в которых излучение проходит большое количество обходов внутри резонатора, испытывая при этом усиление в активной среде. Традиционный кинетический подход в этом случае неприменим, и потребовалась его существенная модификация.

Предложенный подход учитывает сильное изменение состояния системы внутри одного цикла за счет притока энергии извне, при этом, аналогично классическому подходу, предполагается слабое изменение от цикла к циклу. Подход использован для получения аналитического и численного решения для спектра генерации волоконного ВКР-лазера со случайной распределенной обратной связью. В этом лазере присутствует большое количество (континуум) спектральных компонент, нелинейно взаимодействующих между собой, при этом внутри одного цикла (т. е. на протяжении одного обхода волоконного световода) спектр излучения изменяется существенным образом благодаря сильно неоднородному продольному распределению ВКР-усиления.

Для проверки построенной модели был разработан и создан экспериментальный макет волоконного ВКР-лазера со случайной распределенной обратной связью, генерирующий в области 1.3 мкм, и проведены измерения его спектральных характеристик. Получено хорошее согласие результатов эксперимента с предсказаниями модели, включающей нелинейное уширение при больших мощностях и классическую линейную кинетику лазерного спектра (сужение Шавлова–Таунса) вблизи порога генерации (рис. 2.33). Показано, что предложенный подход может также использоваться для описания спектров волоконных лазеров с обычным резонатором, в котором генерируется большое количество продольных мод.

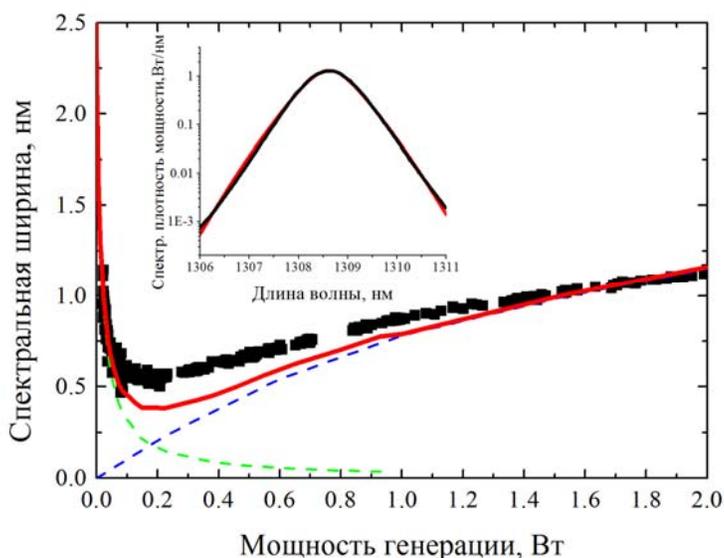


Рис. 2.33. Ширина и форма (вставка) спектра генерации волоконного ВКР-лазера со случайной распределенной обратной связью. Эксперимент (черные квадраты) и теория (красная линия) с линейным (зеленый пунктир) и нелинейным (синий пунктир) вкладом соответственно

Исследованы спектральные и поляризационные свойства излучения волоконного СРОС-лазера с поляризованной накачкой, генерирующего в области 1.45 мкм. Показано, что мощность, форма спектра и состояние поляризации выходного излучения зависят от состояния поляризации из-

лучения накачки. Кроме того, изучены динамика интенсивности и статистические свойства излучения СРОС-лазера, генерирующего в области 1.55 мкм.

(Лаборатория волоконной оптики, Тематическая группа нелинейной оптики)

Публикации:

1. Churkin D.V., Kolokolov I.V., Podivilov E.V., Vatik I.D., Nikulin M.A., Vergeles S.S., Terekhov I.S., Lebedev V.V., Falkovich G., Babin S.A. and Turitsyn S.K. Wave kinetics of random fibre lasers // *Nature Comm.*, 2015, № 2. P. 6214 (6 p.).
2. Smirnov S., Tarasov N., Churkin D. Radiation build-up in laminar and turbulent regimes in quasi-CW Raman fiber laser // *Optics Express*, 2015, v. 23, № 21. P. 27606–27611.
3. Sugavanam S., Tarasov N., Wabnitz S., Churkin D.V. Ginzburg–Landau turbulence in quasi-CW Raman fiber lasers // *Laser & Photon. Rev.*, 2015, v. 9, № 6. L35–L39.
4. Tarasov N., Sugavanam S., Churkin D. Spatio-temporal generation regimes in quasi-CW Raman fiber lasers // *Optics Express*, 2015, v. 23. P. 24189–24194.
5. Wu H., Wang Z.N., Churkin D.V., Vatik I.D., Fan M.Q., Rao Y.J. Random distributed feedback Raman fiber laser with polarized pumping // *Laser Physics Letters*, 2015, v. 12, № 1. P. 015101.
6. Горбунов О., Сугаванам Ш., Чуркин Д. Экспериментальное изучение редких событий в излучении волоконного лазера со случайно распределенной обратной связью // *Фотон-экспресс. Спецвыпуск: Всероссийская конференция по волоконной оптике – ВКВО–2015 (г. Пермь, Россия, 7–9 октября 2015)*, № 6 (126). С. 63–64.
7. Донцова Е.И., Лобач И.А., Достовалов А.В., Каблуков С.И. Исследование поляризационных свойств генерации второй гармоники в световодах с периодически наведенной квадратичной нелинейностью // *Прикладная фотоника*, 2015, т. 2, № 4. С. 342–357.
8. Churkin D.V., Kolokolov I.V., Podivilov E.V., Vatik I.D., Nikulin M.A., Vergeles S.S., Terekhov I.S., Lebedev V.V., Falkovich G., Babin S.A., Turitsyn S.K. How optical spectrum of random fiber laser is formed // *Conference on Lasers and Electro-Optics – CLEO 2015 (San Jose, CA, USA, May 10–15, 2015)*. Tech. Digest, OSA Publ., paper FW4D.5.
9. Sugavanam S., Churkin D. Real-time spectral characterization of random fiber lasers using a scanning Fabry Perot interferometer // *CLEO/Europe-EQEC 2015 (Munich, Germany, June 21–25, 2015)*. Tech. Digest, OSA Publ. Paper CJ-P.8.
10. Sugavanam S., Tarasov N., Wabnitz S., Churkin D. Optical turbulence and polarization rogue waves in experiments and Ginzburg–Landau model of quasi-CW fiber laser // *Там же*, paper EF-P.6.
11. Tarasov N., Sugavanam S., Churkin D. Spatio-temporal dynamics of Raman fibre lasers // *Там же*. Paper EF-P.29.
12. Churkin D., Kolokolov I., Podivilov E., Vatik I., Nikulin M., Vergeles S., Terekhov I., Lebedev V., Falkovich G., Babin S., Turitsyn S. Wave kinetics of random fibre lasers // *Там же*, paper EI-2.2.

Исследование и оптимизация процесса генерации второй гармоники излучения волоконных лазеров различных конфигураций в полингированных волоконных световодах, сравнение с нелинейными кристаллами (ответственные исполнители: к.ф.-м.н. Каблуков С.И., к.ф.-м.н. Лобач И.А.).

Исследованы новые возможности сужения спектра и получения односторонней генерации в полностью волоконной схеме лазера с применением волоконных брэгговских решёток (ВБР), волоконного отражательного интерферометра (ВОИ), режима самосканерования частоты, вынуж-

денного рассеяния Мандельштама–Бриллюэна. Разработаны новые методы изготовления ВОИ и ВБР, в т.ч. с использованием фемтосекундного излучения. Получен и исследован одночастотный режим самосканирования частоты.

С помощью одночастотного лазера с самосканированием частоты измерены кривые синхронизма полированных волоконных световодов и проведена спектральная оптимизация процесса генерации второй гармоники (ГВГ) в них.

Проведено сравнение эффективности генерации второй гармоники ВКР-лазера с обычным линейным резонатором, состоящего из волоконного кольцевого зеркала и выходной волоконной брэгговской решетки и ВКР-лазера с открытым резонатором (безвыходной ВБР) – на основе случайной распределенной обратной связи (СРОС) из-за рэлеевского рассеяния на естественных неоднородностях световода. Показано, что при большой мощности (>4 Вт) ширина спектра генерации СРОС-лазера в 1.3–1.5 раз меньше, чем ширина спектра генерации обычного ВКР-лазера с ВБР (рис. 2.34), что приводит к пропорциональному увеличению мощности второй гармоники. С использованием СРОС-лазера получена ГВГ на 654 нм мощностью более 100 мВт.

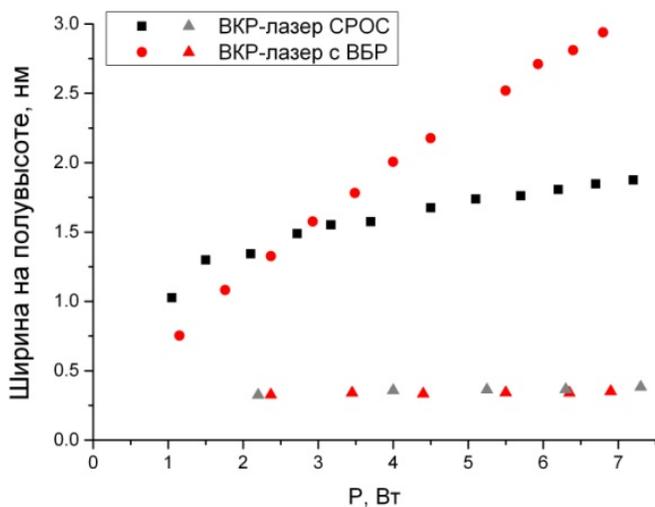


Рис. 2.34. Ширины спектров на полувысоте в зависимости от мощности ВКР-лазера на основной, $\lambda_1=1308$ нм (красные круги и черные квадраты для ВБР и СРОС конфигураций резонатора соответственно) и удвоенной частоте, $\lambda_2=654$ нм (треугольники соответствующего цвета)

(Лаборатория волоконной оптики)

Публикации:

1. Babin S.A., Dontsova E.I., Vatik I.D., Kablukov S.I. Second harmonic generation of a random fiber laser with Raman gain // Proceedings SPIE, 2015, v. 9347, paper 9347-34. P. 1–9.
2. Терентьев В.С., Симонов В.А. Отражательный волоконный интерферометр на основе тонкой металлической дифракционной структуры с повышенной лучевой стойко-

- стью // Фотон-экспресс. Спецвыпуск: Всероссийская конференция по волоконной оптике – ВКВО–2015 (г. Пермь, Россия, 7–9 октября 2015), № 6 (126). С. 222–223.
3. Sugavanam S., Fabbri S., Le S.T., Lobach I., Kablukov S.I., Khorev S., Churkin D. Real-time heterodyne-based measurements of fiber laser spectral dynamics // Conference on Lasers and Electro-Optics – CLEO 2015 (San Jose, CA, USA, May 10–15, 2015). Tech. Digest, OSA Publ. Paper JTh2A.50.
 4. Fotiadi A., Lobach I., Megret P. Acoustic and thermal effects in Brillouin random fiber laser // Там же. Paper CJ-P.28.
 5. Lobach I.A., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Single-frequency self-sweeping fiber lasers // Fifth Russian-Chinese Workshop and School for Young Scientists on Laser Physics and Photonics (Novosibirsk, Russia, August 26–30, 2015). Tech. Digest. P. 71–72.
 6. Terentyev V.S., Simonov V.A. Fiber reflection interferometer in single-mode fiber // 24th annual International Laser Physics Workshop –LPHYS'15 (Shanghai, China, August 21–25, 2015). Tech. Digest. Paper P.S8.1.
 7. Dostovalov V., Wolf A.A., Babin S.A. Direct writing of fiber Bragg gratings through polyimide coating by femtosecond laser pulses at the wavelength of 1026 nm // Progress In Electromagnetics Research Symposium – PIERS 2015 (Prague, Czech Republic, July 6–9, 2015). Abstracts. P. 2043.
 8. Babin S.A., Dostovalov A.V., Wolf A.A., Parygin A.V. Femtosecond inscription of long-period and fiber Bragg gratings for harsh environment sensors and high power lasers applications // Asia Communications and Photonics Conference – ACP–2015 (Hong Kong, November 19–23, 2015). Tech. Digest. Paper AM2D.4.
 9. Донцова Е.И. Генерация второй гармоники в видимом диапазоне спектра в полностью волоконной схеме // Байконур-2015. Физика-космосу. Программа визитов в научно-технические центры. Тезисы доклада (в печати).
 10. Бабин С.А., Лобач И.А., Каблуков С.И. Волоконный источник однонаправленного одночастотного поляризованного лазерного излучения с пассивным сканированием частоты (варианты). Патент на изобретение № 2566385 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2015, № 30.

Исследование новых форматов передачи данных с фазовой модуляцией (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Шапиро Д.А.).

Предложен итерационный метод подбора оптимального входного алфавита и расчета пропускной способности канала оптической связи. Продемонстрировано преимущество нового метода по сравнению с классическим алгоритмом Аримото – Блэхута. Установлено, что новый метод особенно эффективен для каналов с дискретным входным алфавитом, неизвестным априори. На рис. 2.35 изображены вероятности, рассчитанные новым и традиционным методами при разных размерах интервала d (неопределенности положения символа). Из рисунка видно, что новый метод значительно быстрее сходится и одновременно обеспечивает существенно более высокую точность.

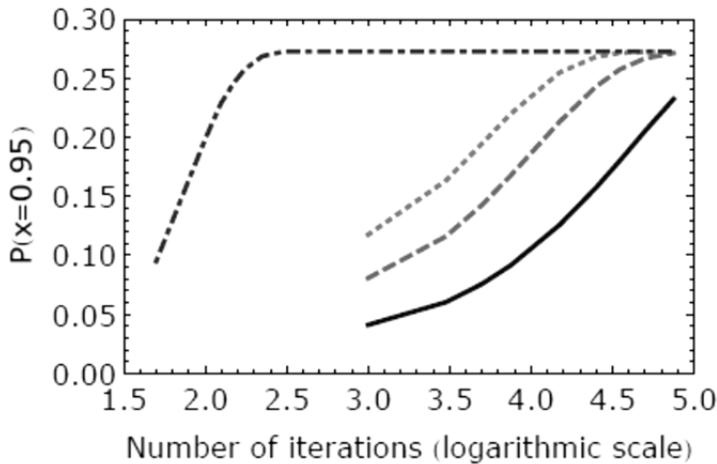


Рис. 2.35. Сравнение нового метода с алгоритмом Аримото – Блэхута. Вероятность символа входного алфавита $x = 0.95 \pm d$ в зависимости от десятичного логарифма числа итераций для разных интервалов: $d = 0.3$ (точки), 0.2 (штрихи), 0.1 (сплошная линия). Верхняя кривая (штрих-пунктир) – расчет итерационным методом с интервалом $d = 0.001$

Разработан универсальный быстрый алгоритм для решения обратной и прямой задачи рассеяния. Алгоритм позволяет решить численно задачу Коши для нелинейного уравнения Шредингера (НУШ) методом обратной задачи рассеяния. Метод применим как для дефокусирующего, так и для наиболее важного фокусирующего НУШ, когда в ходе численного решения задачи рассеяния возникают неэрмитовы блочно-теплицевы матрицы. Выполнено тестирование универсального алгоритма на точных решениях НУШ, подтвердившее высокую эффективность алгоритма.

Найдена функция Грина для задачи рассеяния электромагнитной волны на диэлектрическом цилиндре. Получены формулы для функции Грина внутри и снаружи цилиндра в случаях p - и s -волны для источника внутри и снаружи цилиндра. Функция может использоваться для построения приближенных решений задачи рассеяния на системе цилиндров в виде рядов теории возмущений.

(Лаборатория фотоники)

Публикации:

1. Frumin L.L., Belai O.V., Podivilov E.V., Shapiro D.A. Efficient numerical method for solving the direct Zakharov–Shabat scattering problem // JOSA B, 2015, v. 32, № 2. P. 290–296.
2. Немыкин А.В., Перминов С.В., Фрумин Л.Л., Шапиро Д.А. Возбуждение плазмонного резонанса в металлических цилиндрах неоднородной волной // Квантовая электроника, 2015, т. 45, № 3. С. 240–244.
3. Shapiro E.G., Shapiro D.A., Turitsyn S.K. Method for computing the optimal signal distribution and channel capacity // Optics Express, 2015, v. 23, № 12. P. 15119–15133.
4. Фрумин Л.Л., Шапиро Д.А. Возбуждение плазмонов неоднородными волнами: моделирование методом граничных элементов // Международная конференция «Актуальные проблемы вычисл. и прикл. математики – 2015» (г. Новосибирск, Россия, 19–23 октября 2015). Новосибирск: Академиздат, 2015. 186 с. С. 164.

5. Берёза А.С. Рассеяние волны на параллельных цилиндрах в борновском приближении // X Всероссийская конференция молодых ученых «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика» (г. Саратов, Россия, 8–10 сентября 2015). Саратов, Издательство «Техно-Декор», 2015. С. 18–19.

Проект П.10.2.5. Исследование организации и функциональных свойств наноструктурированных сред оптическими методами. № гос. рег. 01201365448.

Исполнители проекта:

Лаборатория спектроскопии конденсированных сред (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Суровцев Н.В.).

Лаборатория физики лазеров (ответственные исполнители д.ф.-м.н. Плеханов А.И., к.ф.-м.н. Атутов С.Н.).

Тематическая группа нелинейной оптики (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Заболотский А.А.).

Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Косцов Э.Г.).

Научный руководитель **д.ф.-м.н. Малиновский В.К.**

Исследование и анализ спектров неупругого рассеяния света в стеклообразующих толуоле и дибутилфталате. Сравнение вкладов быстрой релаксации при T_A в исследованных стеклующихся материалах. Поиск закономерностей. Анализ эффекта фотовыцветания цитохрома при облучении дрожжевых клеток. Исследование низкочастотных спектров КРС в нанокмозитах на основе порошков титаната бария (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Суровцев Н.В.).

Методом неупругого рассеяния света (рассеяние Мандельштама–Бриллюэна) проведено детальное исследование поведения времени альфа-релаксации в двух органических молекулярных стеклующихся веществах: толуоле и дибутилфталате. Спектры неупругого рассеяния света были измерены в широком температурном интервале. Из измеренных спектров были определены значения времени альфа-релаксации $\tau_\alpha(T)$ как функции температуры. Показано, что существует интервал температур, где $\tau_\alpha(T)$ описывается термоактивационным (аррениусовским) законом, который заменяется более резкой (неаррениусовской) зависимостью при более низких температурах. Смена режимов для $\tau_\alpha(T)$ происходит достаточно резко, что позволяет определить температуру перехода T_A . Деривативный анализ, примененный к экспериментальным значениям $\tau_\alpha(T)$ (рис. 2.36) позволил определить величину $T_A = 257$ и 405 К для толуола и дибутилфталата, соответственно. В случае толуола это значение хорошо согласуется с оценками, полученными в предыдущих работах, и температурой зарождения наноразмерных кластеров T_x , определенной по температурной зависимости отношения Ландау–Плачека. Однако в случае дибутилфталата измеренное T_A оказалось существенно выше $T_x = 355$ К. Не-

совпадение T_A и T_x не наблюдалось ранее (например, для салола, орто-терфенила и альфа-пиколина, изученных в 2014 году в рамках проекта). Случай дибутилфталата оказался уникальным, но природа этого расхождения не ясна. Возможно, что это расхождение связано с изменением конформационных состояний цепочек $(CO)-O-(CH_2)_3-CH_3$ в дибутилфталате, которое влияет на релаксационный отклик, но не отражается на поведении отношения Ландау–Плачека.

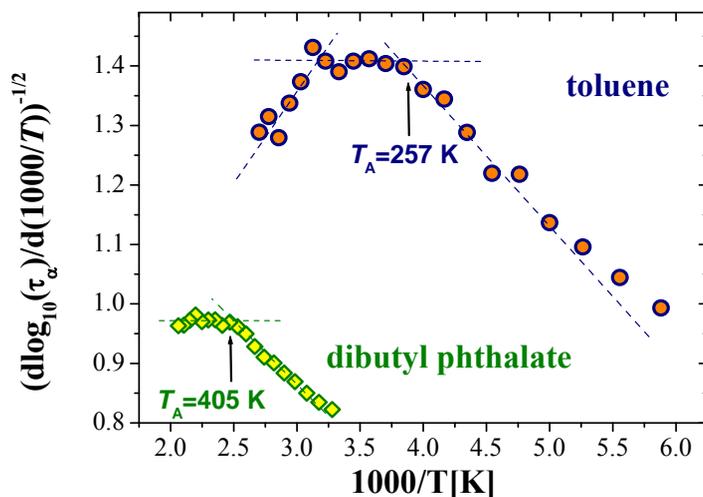


Рис. 2.36. Температурная зависимость $\left(\frac{\partial \log_{10} \tau_{\alpha}}{\partial 1000/T}\right)^{-1/2}$

относительно $1000/T$ для толуола и дибутилфталата. Прямые линии соответствуют аррениусовскому поведению (горизонтальные линии) и поведению Фогеля–Фулчера–Таммана (наклонные линии)

Исследование $\tau_{\alpha}(T)$ в толуоле показало, что выше 315 наблюдается высокотемпературный переход к неаррениусовскому поведению (рис. 2.36). Это первый материал без водородных связей, в котором мы наблюдали высокотемпературное неаррениусовское поведение. Данный результат указывает на универсальность высокотемпературного неаррениусовского поведения для $\tau_{\alpha}(T)$, если температура кипения материала оказывается достаточно высокой по сравнению с T_A .

Исследование вкладов быстрой релаксации при T_A в салоле, пиколине, орто-терфениле, дибутилфталате и толуоле показало, что этот вклад существенно варьируется от материала к материалу.

За счет воды был расширен «ассортимент» материалов, в которых наблюдается переход от аррениусовского к неаррениусовскому поведению для $\tau_{\alpha}(T)$, связанному с образованием нанометровых неоднородностей [1]. Была исследована численная модель воды в диапазоне температур 240–340 К, которая хорошо воспроизводит экспериментальные данные по вязкости (рис. 2.37, а). Деривативный анализ поведения вязкости обнаруживает смену высокотемпературного поведения, описываемого

термоактивационным законом, на более резкое, неаррениусовское поведение (рис. 2.37, б). Переход от одного режима к другому происходит при $T \sim 273 \pm 7$ К. Анализ структур моделей воды показал, что с понижением температуры увеличивается число молекул воды, вовлеченных в группировки с числом молекул более 20 и объединенных сильной водородной связью (по сравнению со средней по образцу).

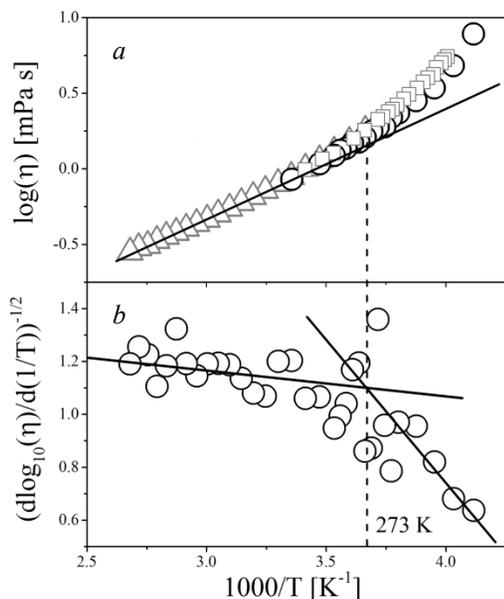


Рис. 2.37: *a* – температурная зависимость вязкости воды. Треугольниками и квадратами обозначены экспериментальные данные, кружками – результаты численного моделирования, полученные авторами; *б* – температурная зависимость $f(1/T) = (d \log \eta / d(1/T))^{-1/2}$ для вязкости воды

Определена температурная зависимость времени выцветания цитохрома в замораживаемых дрожжевых клетках [2]. В этих исследованиях лазерное излучение на длине волны 532 нм одновременно служило накачкой для комбинационного рассеяния света (КРС) и производило окисление цитохромов, вовлеченных в работу электронно-транспортной цепи. В результате происходило фотовыцветание линий резонансного КРС от неокисленного цитохрома. Скорость убывания неокисленного цитохрома определяется двумя факторами: скоростью фотоиндуцированных реакций и скоростью темновых процессов, пытающихся восстановить естественный баланс. Из анализа зависимости времени фотоокисления от мощности лазерного излучения и от температуры были получены температурные зависимости для скорости реакций как темновой, так и фотоиндуцированной. Показано, что температурная зависимость темновой реакции, вовлеченной в окислительно-восстановительный баланс, имеет резкую температурную зависимость и может быть описана термоактивационным законом с величиной барьера 32.5 кДж/мол (рис. 2.38).

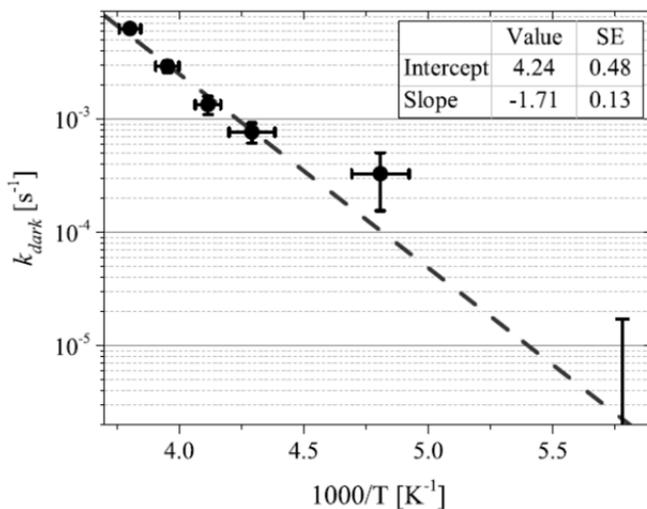


Рис. 2.38. Температурная зависимость эффективной скорости окислительно-восстановительных реакции замораживаемых дрожжевых клеток в аррениусовском представлении. Прямая линия соответствует термоактивационному поведению с барьером 32.5 кДж/мол

Изучены низкочастотные спектры КРС в нанокompозитах на основе порошков титаната бария, приготовленных в условиях высокого давления (до 40 кбар) [3, 4]. Показано, что в отличие от монокристаллического титаната бария, в котором низкочастотные спектры могут быть описаны в приближении одного времени релаксации, прессованный композит показывает широкое распределение времен релаксации. Численно это распределение может быть охарактеризовано значением параметра α – показателем степени в выражении $I_c(\omega) \propto \omega^\alpha$, описывающем низкочастотную часть спектра в представлении восприимчивости: $\alpha = 1$ соответствует одному времени релаксации, а $\alpha < 1$ некоторому распределению времен релаксации, которое тем шире, чем меньше α . Поведение $\alpha(T)$ в прессованных композитах титаната бария оказалось аналогичным поведению $\alpha(T)$ в сегнетоэлектрических релаксорах (например, в магнониобате свинца $Pb_3(MgNb_2)O_9$, PMN). Полученные результаты были объяснены созданием локальных полей (электрических и механических) в композитах титаната бария в результате обработки высоким давлением. Эти поля играют ту же роль, что полярные неоднородности в сегнетоэлектрических релаксорах. Присутствие полярных неоднородностей может быть обнаружено в экспериментах по генерации второй гармоники. Результаты такого эксперимента показаны на рис. 2.39 как для монокристалла, порошка и прессованного композита титаната бария, так и для классического сегнетоэлектрического релаксора PMN. На нижней части рисунка представлены данные по генерации второй гармоники в представлении производной, визуализирующей фазовый переход. Видно, что именно приложенные давления к порошку титаната бария приводят к размытию сегнетоэлектрического фазового перехода и превращают его в аналог сегнетоэлектрического релаксора.

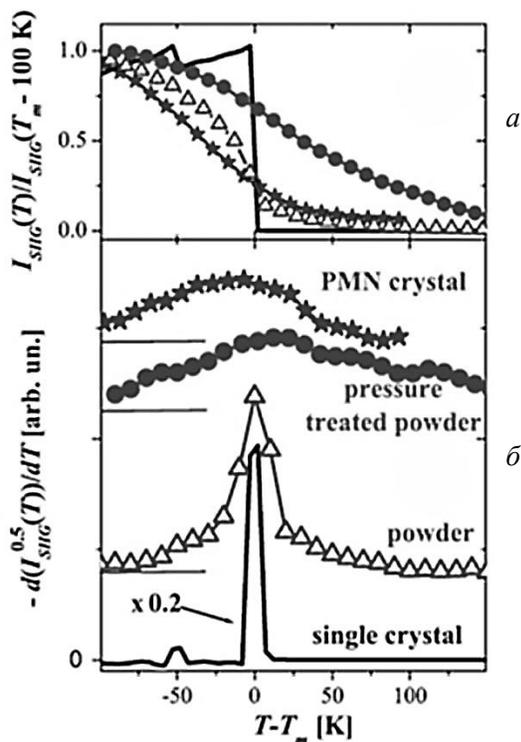


Рис. 2.39: *а* – температурная зависимость сигнала ГВГ, $I_{2\omega}$, для монокристалла (линия), порошка (треугольники) и прессованного композита (кружки) титаната бария и кристалла PMN (звездочки); *б* – температурная зависимость производной $d\sqrt{I_{2\omega}}/dT$ для этих же материалов

(Лаборатория спектроскопии конденсированных сред)

Публикации:

1. Малиновский В.К., Жданов Р.К., Гец К.В., Белослудов, В.Р., Зыкова В.А., Суровцев Н.В. Происхождение аномалии поведения вязкости воды вблизи 0°C // Письма в ЖЭТФ (принята в печать).
2. Okotrub K.A., Surovtsev N.V. Redox State of Cytochromes in Frozen Yeast Cells Probed by Resonance Raman Spectroscopy // Biophysical Journal, v. 109, iss. 11. P. 2227–2234.
3. Pugachev A.M., Kovalevsky V.I., Malinovsky V.K., Borzdov Yu.M., Surovtsev N.V. Relaxor-like features in pressure-treated barium titanate powder // Applied Physics Letters, 2015, v. 107, № 10. P. 102902 (4 p.).
4. Пугачев А.М., Ковалевский В.И., Малиновский В.К., Малицкая М.А., Раевская С.И., Раевский И.П., Суровцев Н.В. Исследование локальных полярных неоднородностей в $\text{Pb}_3(\text{MgNb}_2)\text{O}_9$ методом генерации второй гармоники // Физика твердого тела, 2015, т. 57, вып. 3. С. 461–464.

Экспериментальное исследование влияния объемной диффузии в вязком полимерном слое на процесс столкновения атомов с его поверхностью (ответственные исполнители: к.ф.-м.н. Атутов С.Н., д.ф.-м.н. Плеханов А.И.).

Проведено детальное исследование течения Кнудсена атомов Rb в цилиндрическом капилляре, внутренние стенки которого покрыты полидиметилсилоксановой (ПДМС) плёнкой. Исследованы два типа ПДМС с различными вязкостями ($M_w.92.400$, $11000 \text{ мм}^2 \text{ с}^{-1}$, $M_w.182.600$, $410000 \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$) «mv» и «hv» соответственно. Измерены вероятности прилипания (sticking probability) атомов рубидия к поверхности ПДМС плёнок при одном столкновении, которые оказались равными для двух типов

плёнок и составили величину 4.3×10^{-5} при комнатной температуре. Это равнозначно 2.3×10^4 столкновений атома со стенкой для того, чтобы быть безвозвратно поглощённым её поверхностью в результате процесса химической адсорбции.

Измерено время удержания атома рубидия (sticking time) на поверхности для mv и hv плёнок (рис. 2.40).

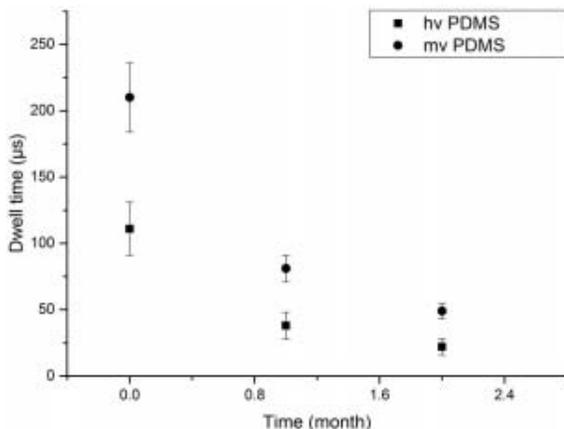


Рис. 2.40. Зависимость времени удержания атомов рубидия на поверхности плёнок ПДМС от времени пассивации

Установлено, что это время для плёнки mv составляет величину 49 ± 6 мкс, а для плёнки hv 22 ± 3 мкс соответственно. Оказалась, что обе эти величины зависят от типа полимера, времени пассивации и они примерно в миллион раз больше, чем теоретическое время ($\tau_s = 2 \times 10^{-11}$ s), традиционно рассчитанное по известной формуле Аррениуса ($\tau_s = \tau_0 e^{E/kT}$, где $\tau_0 \sim 10^{-12}$ s) с использованием температуры стенок (25°C) и поверхностного потенциала (0.026 eV), которые измерены в этом же эксперименте. Предложено объяснение этого удивительного результата, в котором подчёркнута важная роль подповерхностной диффузии атомов рубидия на процесс взаимодействия атомов с поверхностью. Суть предложенного объяснения состоит в следующем. Когда атомы сталкиваются с твердой химически нейтральной поверхностью, например, с поверхностью сапфировой стенки, часть этих атомов могут быть захвачены потенциальным барьером у этой поверхности на некоторое время (время удержания). Затем атомы могут покинуть поверхность, получив достаточно тепловой энергии от поверхности для преодоления потенциального барьера. Если температура поверхности достаточно велика при низком потенциальном барьере, то время удержания может быть очень малым. Ситуация резко меняется при столкновении атомов с твёрдой, но пористой поверхностью. В этом случае атом может (посредством диффузии в порах) проникнуть глубоко под поверхность стенки, затем вернуться назад, а только после этого покинуть поверхность. В этом случае время пребывания атомов будет определяться достаточно медленным процессом диффузии этих атомов внутри стенки, и время удержания будет велико, несмотря на низкий потенциальный барьер и высокую температуру. Реальный процесс столкновения атомов ру-

бидия с поверхностью пористого и вязкого ПДМС полимера чрезвычайно сложный и требует дальнейшего детального изучения [1, 2].

(Лаборатория физики лазеров)

Публикации:

1. Atutov S.N., Plekhanov A.I. Accurate measurement of the sticking time and sticking probability of Rb atoms on a polydimethylsiloxane coating // ЖЭТФ, т. 147, вып. 1. С. 5–13.
2. Atutov S.N., Benimetskiy F.A., Plekhanov A.I. Collision of atoms with porous polymer surface: Evidence of influence of bulk diffusion on anomalously long dwell time of Rb atoms // European Physical Journal D, 2015, v. 69, issue 7, 29 July 2015. Article number 182.

Развитие теории эволюции и преобразования электромагнитного поля в композитных средах с J-агрегатами красителей, молекул белка и наночастицами металлов разной формы (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Заболотский А.А.).

Построена теория, количественно объясняющая зависимость усиления флуоресценции J-агрегатов красителя, имеющих форму длинных пучков нитей или плоскую листообразную форму, от расстояния до расположенной вблизи металлической наночастицы. Экспериментально расстояние между наночастицей и J-агрегатом изменялось нанесением полимерного слоя толщиной 1.5 нм. На рис. 2.41 показано изменение флуоресценции с ростом расстояния от наночастицы до J-агрегата [1].

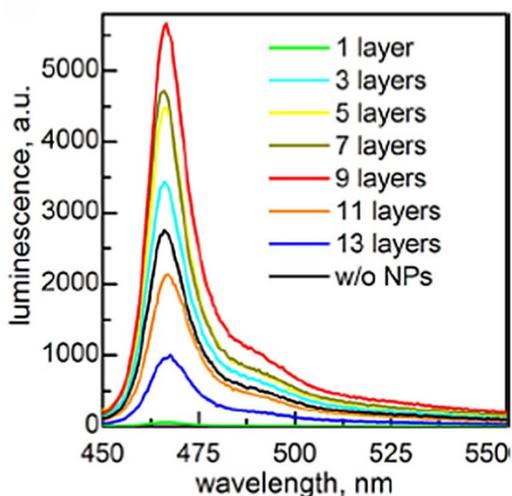


Рис. 2.41. Зависимость величины флуоресценции от расстояния наночастицы до J-агрегата

В работе [2] рассмотрен новый физический механизм локализации солитонов в плоской системе оптических волноводов с примесными наноструктурами, образующими энергетические ловушки. В качестве ловушек предлагается использовать поглощающие или усиливающие двухуровневые среды. Рассмотренные четыре возможных варианта ловушек демонстрируют, что изменением расстройки или заселенности верхнего уровня можно эффективно управлять динамикой и направлением распространения солитонов. Продемонстрировано, что релаксационные потери в

волноводах можно компенсировать локально в области имплантированных атомов, что приводит к формированию устойчивых диссипативных солитонов. В реальных оптических средах необходимо учитывать диссоциацию возбуждений, диффузию носителей, неоднородность среды и прочие эффекты. Однако, как показал численный анализ, следует ожидать, что в плоской среде явления, определяемые локализацией солитонов в волноводных ловушках, сохранятся и с учетом этих эффектов. В качестве плоского пакета волноводов могут использоваться супрамолекулярные структуры типа J-агрегатов красителей или сопряженных полимеров. Результаты работы могут быть использованы для изучения влияния имплантированных в среду или помещенных на нанорасстояниях от них примесей на динамику экситонов.

Выведены эволюционные уравнения двухчастотного вынужденного комбинационного рассеяния в молекулярной квазитрехуровневой среде с постоянными дипольными моментами. При выводе применялись приближения неистощения поля накачки и однонаправленного распространения поля Стокса. Найдены полностью интегрируемые частные случаи полученной системы уравнений. В рамках этой модели изучаются новые механизмы управления параметрами микроволновых импульсов, генерируемых в такой системе. Численный анализ и частные точные решения показывают возможность переключения между режимами генерации узких импульсов стоковского поля и импульсов с формой, близкой прямоугольной [3].

(Тематическая группа нелинейной оптики)

Публикации:

1. Sorokin A.V., Zabolotskii A.A., Pereverzev N.V., Yefimova S.L., Malyukin Y.V., and Plekhanov A.I. Plasmon Controlled Exciton Fluorescence of Molecular Aggregates // J. Phys. Chem. C, 2014, v. 118. P. 7599–7605.
2. Заболотский А.А. Управление диссипативными солитонами в волноводной ловушке // Автометрия, 2015, т. 51, № 2. С. 61–70.
3. Заболотский А.А. Вынужденное комбинационное рассеяние в приближении однонаправленного распространения в среде с постоянными дипольными моментами // ЖЭТФ, 2015, т. 148, вып. 5 (1). С. 1–10.

Исследование влияния шероховатости поверхности диэлектрика на процесс формирования нанозазора в тонкопленочной структуре «подвижный электрод – диэлектрик – электрод» (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Косцов Э.Г.).

Ранее [1–3] нами был разработан новый класс элементов наномикроэлектромеханики, основанный на создании в нанометровом объеме предельно высокой напряженности электрического поля E , до 10^9 В/м и более. Увеличение E в зазорах емкостных электромеханических устройств ведет, как известно, к улучшению их основных параметров, например мощности микродвигателей, силы их тяги, скорости реакции на импульс напряжения и т. д. Поле создается в нанозазоре между поверхностями сегнетоэлектрика и подвижного электрода, протяженность наноза-

зора (величина d_z) управляется импульсами электрического поля (рис. 2.42).

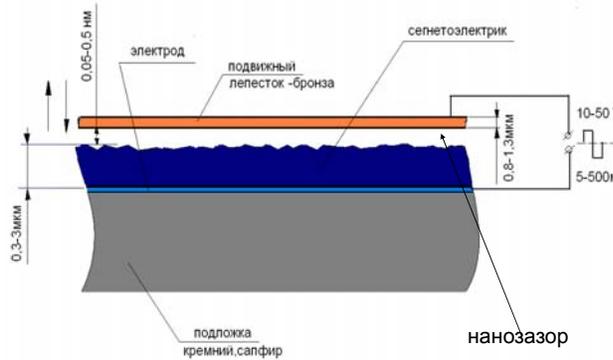


Рис. 2.42. Структура электрод – SBN – нанозазор – подвижный электрод (лепесток)

Анализ распределения силы обратимого электростатического притяжения подвижного электрода под действием импульса напряжения с амплитудой V , $F = 0.5V^2(dC_z/d_z)$ к поверхности сегнетоэлектрической пленки с толщиной d и с величиной диэлектрической проницаемости ϵ показывает, что только при ϵ/d больше чем 10^9 достигаются высокие значения этих сил, до 10^6 Н/м^2 .

В указанных структурах практически всё подаваемое на них напряжение падает на нанометровом зазоре V_z , и только небольшая его часть на слое диэлектрика, и таким образом к подвижному электроду прикладываются большие электростатические силы, имеющие место в нанометровом зазоре (рис. 2.43).

Была разработана идеология, технология и физико-технические основы построения элементов и устройств нано-, микроэлектромеханики, созданы реальные образцы микродвигателей с высокой энергоемкостью, низковольтные микрооптоэлектромеханические устройства и т. д., основанные на указанном принципе электромеханического преобразования энергии. Показано, что минимальные значения нанозазора определяются шероховатостью поверхностей, характеристики которых могут быть описаны в терминах распределения перепадов высот микровыступов, их количества на единицу поверхности. Возникновение такой картины зазора является неизбежным, поскольку невозможно создать идеально гладкую поверхность, — она всегда шероховата на микроскопическом или на атомарном уровне.

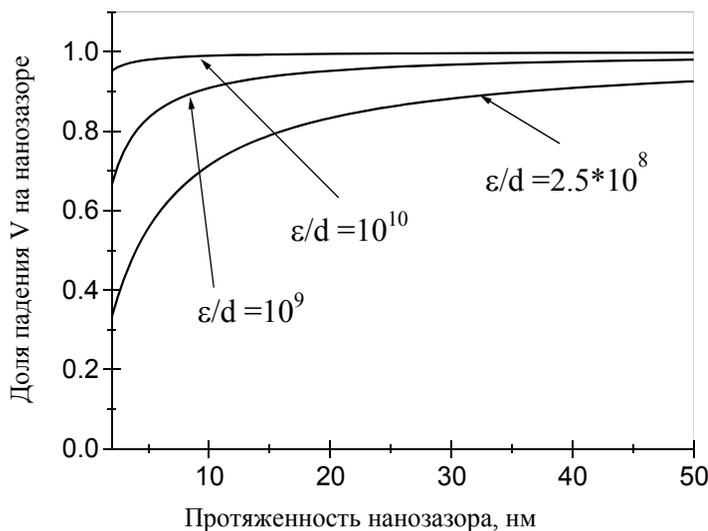


Рис. 2.43. Перераспределение напряжения между нанозазором и сегнетоэлектрической пленкой при разных отношениях ϵ/d

При создании высокоэнергоемких электромеханических преобразователей энергии важным практическим вопросом является возможность приложения к нанометровому зазору больших напряжений, до 100 В, без возникновения его пробоя. Используемые нами тонкие сегнетоэлектрические пленки ниобата бария-стронция, SBN, $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$, с величиной диэлектрической проницаемости ϵ , до 3000–5000 и более, при их толщине d , в 0.1–5 мкм обладали достаточно высокой электрической прочностью, свыше 100 В/мкм. В них имеет место слабое накопление заряда при действии поля и быстрая его релаксация после выключения импульса напряжения [4–7].

Поверхности пленок ниобата стронция бария исследовались с помощью туннельного микроскопа. Шероховатости поверхности образцов пленок характеризуются следующими параметрами: R_{\max} – разница между максимальным и минимальным значением координаты Z (перепад высот); R_{mean} – среднее значение координаты. В исследуемых областях поверхности пленок SBN размерами 50×50 мкм и с их толщиной 2.2 мкм величина R_{\max} составляла 270–400 нм, а R_{mean} находилось в пределах 75–200 нм.

В прикладных задачах наибольшее значение имеет величина электрической емкости C структуры электрод – пленка SBN – нанозазор – подвижный электрод (тонкая пленка металла, обладающая высокой упругостью, например бериллиевая бронза, ее толщина 1.5–2.5 мкм). Величина C зависит от амплитуды прикладываемого напряжения V , с ростом V она растет, стремясь к насыщению, что соответствует уменьшению средней (эффективной) величины зазора $d_z^{\text{эф}}$ между поверхностью подвижного электрода и сегнетоэлектрика, при этом минимальное значение $d_z^{\text{эф}}$ определяется шероховатостью поверхностей. Величина нанозазора определялась, исходя из определения значения C при последовательном включе-

нии двух емкостей – на основе зазора со средней величиной $d_z^{\text{эф}}$ и диэлектрика с толщиной d .

На рис. 2.44 представлена типичная зависимость величины $d_z^{\text{эф}}$ от V при значении ϵ/d , равном 1.1×10^9 ($d = 2.2$ мкм, $\epsilon = 2000$). Видно, что имеет место насыщение величины, начиная с $d_z^{\text{эф}} = 34$ нм, ему соответствует и насыщение на кривой $C(V)$.

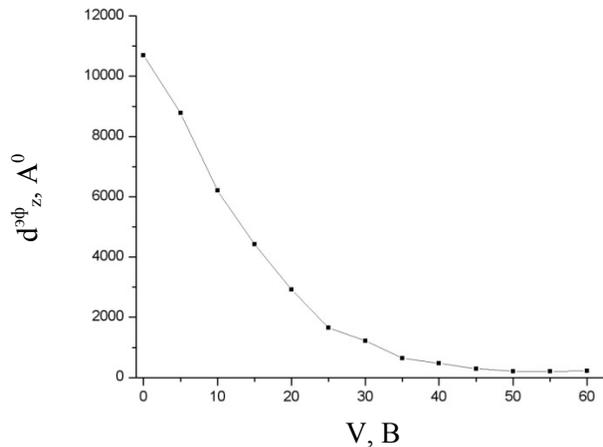


Рис. 2.44. Изменение протяженности эффективного нанозазора с ростом напряжения

Таким образом, средний зазор между указанными поверхностями, оказывается существенно меньше как перепада высот микровыступов, так и средней их высоты. Этот эффект определяется тем, что, начиная с некоторой амплитуды V , имеет место прямой механический контакт локальной части поверхности подвижного электрода (тонкой металлической пленки) с поверхностью микровыступов, пленка металла под действием больших электростатических сил деформируется, прогибается, и поскольку расстояние между микровыступами значительно превышает их размеры, то средний зазор $d_z^{\text{эф}}$ уменьшается.

Экспериментально установлено, что при меньшей толщине сегнетоэлектрических пленок их шероховатость становится меньше, например при $d = 0.3$ мкм, величина $d_z^{\text{эф}}$ может не превышать 5 нм.

(Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур)

Публикации:

1. Багинский И.Л., Косцов Э.Г., Соколов А.А. Новый подход к созданию электростатических микрогенераторов ударного типа // *Автоматрица*, 2015, т. 51, № 3. С. 113–125.
2. Fadeev S.I., Kostsov E.G., and Pimanov D.O. Numerical study of mathematical models of microelectromechanical resonators of various types // *Journal of Applied and Industrial Mathematics*, 2015, v. 9, № 1. P. 47–60.
3. Фадеев С.И., Косцов Э.Г., Пиманов Д.О. Моделирование микроэлектромеханических СВЧ резонаторов типа «платформа» // *Препринт, РАН. Сибирское отд-ние. Ин-т математики*; № 296, 34 с., Новосибирск, 2015.
4. Kostsov E.G. High-speed drive based on energy transformation in nanometer gaps // *5th Annual World Congress of Nano Science and Technology–2015 (Xi'an, China, September 24–26, 2015). Session 401: Nanoelectronics and Nanosystems. Abstract. P. 300.*

5. Косцов Э.Г., Соколов А.А. MEMS двигательные установки для коррекции орбиты микроспутников // V Всероссийская конференция «Фундаментальные основы МЭМС и нанотехнологий 2015» (г. Новосибирск, Россия, 15–18 июня 2015), вып. 5, т. 1. С. 245–249.
6. Багинский И.Л., Косцов Э.Г., Соколов А.А. Электретный ударный микрогенератор // Там же. С. 63–67.
7. Косцов Э.Г., Пиманов Д.О., Фадеев С.И. Микроэлектромеханические СВЧ приборы конструкции и математические модели // Там же. С. 241–245.

Проект П.10.2.6. Исследование динамики формирования пространственно-временных структур при взаимодействии полей с фоторефрактивными, оптоволоконными и наноструктурированными средами. № гос. рег. 01201363760.

Исполнители проекта:

Лаборатория нелинейной физики (ответственные исполнители: д.ф.-м.н. Смирнов Г.И., д.ф.-м.н. Стурман Б.И.).

Научный руководитель д.ф.-м.н. **Комаров К.П.**

Изучение многосолитонных режимов пассивной синхронизации мод волоконных лазеров при взаимодействии солитонов через самоинжектурируемое узкополосное излучение, связанное с дисперсионными волнами (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Смирнов Г.И.).

На основе численного моделирования дан анализ пассивной синхронизации мод волоконных лазеров в условиях дополнительной инерционной нелинейности показателя преломления внутрирезонаторной среды [1]. Показано, при таких условиях самоинжектурируемое узкополосное излучение, связанное с дисперсионными волнами, излучаемыми солитонами вследствие сосредоточенности нелинейных потерь, приводит к расталкиванию солитонов на далеких расстояниях. При этом на близких межсолитонных интервалах превалирует их притяжение. Продемонстрировано, что при таком взаимодействии возникают связанные состояния близко расположенных солитонов и расталкивание образующихся многосолитонных структур (рис. 2.45). В результате реализуется гармоническая пассивная синхронизация лазерных мод, при которой после переходного процесса идентичные многосолитонные структуры эквидистантно располагаются вдоль кольцевого лазерного резонатора. Полученные результаты находятся в хорошем качественном согласии с результатами проведенных экспериментальных исследований с волоконным эрбиевым лазером (рис. 2.46) [2].

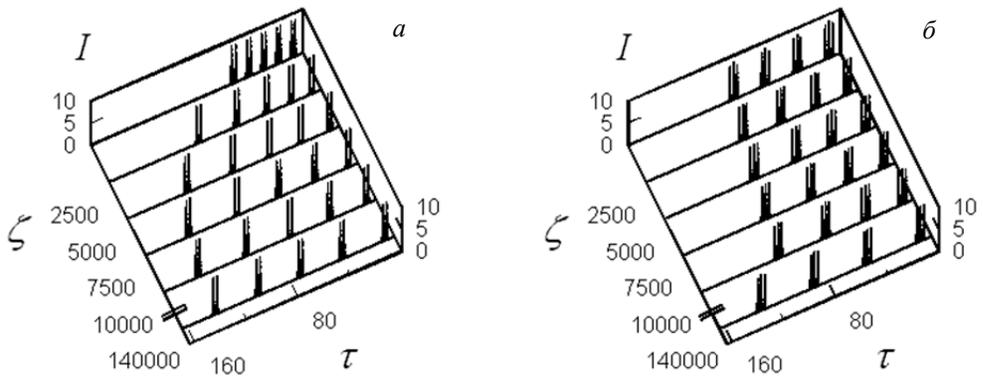


Рис. 2.45. Изменение распределения интенсивности $I(\tau)$ в кольцевом лазерном резонаторе с ростом числа проходов поля через резонатор ζ . Переходный процесс и устанавливающаяся гармоническая пассивная синхронизация мод солитонных пар (а) и солитонных структур, состоящих из трех импульсов (б)

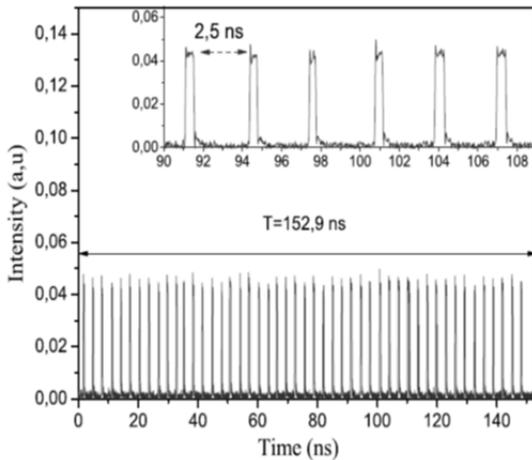


Рис. 2.46. Устанавливающаяся гармоническая пассивная синхронизация мод многосолитонных структур в эрбиевом волоконном кольцевом лазере

(Лаборатория нелинейной физики)

Публикации:

1. Komarov A., Komarov K., Sanchez F. Harmonic passive mode locking of bound-soliton structures in fiber lasers // *Optics Communications*, 2015, v. 354. P. 158–162.
2. Sanchez F., Komarov A., Grelu Ph., Salhi M., Komarov K., Leblond H. Collective dissipative soliton dynamics in passively mode-locked fiber lasers. P. 231-262 // In the book “Nonlinear optical cavity dynamics: from microresonators to fiber lasers” edited by Philippe Grelu. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. – 2016. 325 p.

Исследование сверхсильного локального усиления светового поля вблизи заострений формы металлических наночастиц; изучение порогов бриллюэновской генерации в оптических микрорезонаторах типа шепчущей галереи (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Стурман Б.И.).

Исследованы плазмонные свойства металлических наночастиц, обладающих заострениями формы. Показана возможность гибридизации

сверхлокализованных плазмонов, частоты которых определяются свойствами заострения, и обыкновенных плазмонов, локализованных на масштабе частицы. В условиях гибридизации частица действует подобно наноантенне. Поглощение ею энергии из падающей электромагнитной волны определяется бóльшим размером частицы. В то время как локальное усиление поля определяется отношением наибольшего к наименьшему размеру частицы, что обеспечивает локальное усиление поля падающей электромагнитной волны в районе заострения на несколько порядков величины (рис. 2.47).

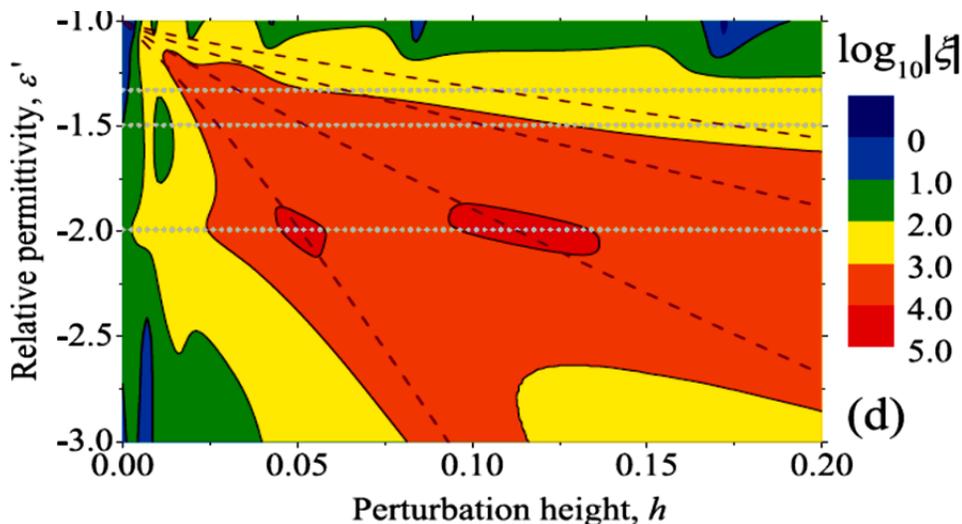


Рис. 2.47. Иллюстрация усиления поля падающей волны в условиях гибридизации сверхлокализованного и обыкновенного плазмонов для гауссовского заострения с высотой h и отношением масштабов 100. Частота волны входит через известную зависимость $\epsilon'(\omega)$. Цвет отражает кратность усиления

Рассчитаны и проанализированы пороговые мощности для вынужденного Бриллюэновского рассеяния в оптических твердотельных микрорезонаторах типа шепчущей галереи. Расчёты включают в себя определение акустических мод типа шепчущей галереи. Показано, что из-за наличия продольного и поперечного звука с существенно разными скоростями ситуация кардинально отличается от той, которая реализуется в случае жидкости и газа. Кроме того, облегчается выполнение условий синхронизма. Результаты исследования позволили объяснить ряд экспериментальных данных и предсказать новые закономерности.

(Лаборатория нелинейной физики)

Публикации:

1. Gorkunov M.V., Sturman B.I., Podivilov E.V. Selective excitation of plasmons superlocalized at sharp perturbations of metal nanoparticles // EPL, 2015, v. 110. P. 57004 (6 p.).
2. Gorkunov M.V., Sturman B.I., Podivilov E.V. Confining light with superlocalized plasmon resonances // The 9th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics (Metamaterials 2015) (Oxford, UK, September 7–12, 2015). P. 82–84.

3. Sturman B., Breunig I. Acoustic whispering gallery modes within the theory of elasticity // J. Appl. Phys., 2015, v. 118. P. 013102 (6 p.).
4. Sturman B., Breunig I. Brillouin lasing in whispering gallery micro-resonators // New Journal of Physics, 2015, v. 17. P. 125006 (12 p.).

НАПРАВЛЕНИЕ IV.35. Когнитивные системы и технологии, нейрo-информатика и биоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект, системы распознавания образов, принятие решений при многих критериях.

ПРОГРАММА IV.35.1. Теоретические основы и технологии создания и применения интегрированных информационно-вычислительных систем для решения задач поддержки принятия решений. Координатор акад. РАН И.В. Бычков.

Проект IV.35.1.6. Научные основы, системные решения и программно-аппаратные средства совместной обработки многоспектральных и пространственных данных для информационной поддержки мониторинга природных и технических систем.

№ гос. рег. 01201366865.

Исполнители проекта:

Лаборатория информационной оптики (ответственные исполнители: к.т.н. Борзов С.М., к.т.н. Козик В.И.).

Тематическая группа имитационно-моделирующих стендов (ответственный исполнитель д.т.н. Гибин И.С.).

Тематическая группа оптико-электронных специализированных процессоров (ответственный исполнитель д.т.н. Нежевенко Е.С.).

Тематическая группа информатики и прикладной математики (ответственный исполнитель д.т.н. Лихачёв А.В.).

Лаборатория интегрированных информационных систем управления (ответственные исполнители: к.т.н. Лубков А.А., к.т.н. Бевзов А.Н., к.т.н. Будников К.И., д.т.н. Кирьянов В.П.).

Тематическая группа языковых средств проектирования информационных систем управления (ответственный исполнитель д.т.н. Зюбин В.Е.).

Научный руководитель д.т.н. Потатуркин О.И.

Разработка и исследование методов обнаружения изменений территории застройки по спектральным и структурным признакам спутниковых изображений среднего разрешения (ответственные исполнители: к.т.н. Борзов С.М., к.т.н. Козик В.И.).

Предложен метод обнаружения изменений территории застройки по разновременным мультиспектральным спутниковым изображениям, сочетающий обработку спектральных и структурных признаков [1–3].

На первом этапе производится попиксельная сегментация базового (более раннего) изображения по специально выбранным спектральным признакам, а также формирование масок антропогенных объектов в базовом и природных зон в тестируемом (более позднем) изображениях с учетом их структурных характеристик. Для формирования масок выполняется оконтуривание соответствующих изображений, и для каждого пикселя контура рассчитывается максимальный угол (угол обзора), в котором на заданном расстоянии от него отсутствуют другие пиксели контура (рис. 2.48). После чего с помощью пороговой обработки разделяются природные и антропогенные территории. При этом пороговое значение для каждого из изображений определяется на основе среднего значения и среднеквадратичного отклонения угла обзора по территориям, содержащим природные зоны (выбираются оператором).

На втором этапе в тестируемом изображении (в сформированных на первом этапе сегментах) выделяются пиксели, отклонившиеся в пространстве спектральных признаков от среднего значения по соответствующим сегментам более чем на 3σ и не содержащиеся ни в одной из масок.

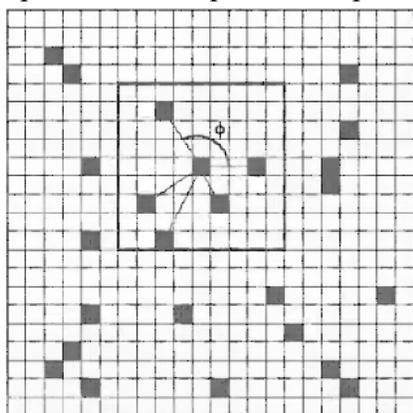


Рис. 2.48. Определение максимального угла обзора ϕ

Такой комбинированный подход позволяет от 2 до 5 раз (в зависимости от типа ландшафта) снизить количество ошибок первого рода (ложная тревога) при обнаружении изменений на поверхности Земли, вызванных строительством новых объектов (рис. 2.49) [4–6].

Показано, что при обработке данных гиперспектральной (ГС) съемки наибольшая доля верно классифицированных пикселей изображений природных и антропогенных территорий достигается методами, учитывающими рас-

пределения обучающих выборок в пространстве признаков. При этом сокращение количества признаков с применением преобразования главных компонент (с 220 до 15–20 для природной зоны и с 190 до 5–10 для городской застройки) позволяет снизить трудоемкость обработки на два порядка без существенного снижения эффективности классификации ГС изображений [7–10].

(Лаборатория информационной оптики, Тематическая группа имитационно-моделирующих стендов)

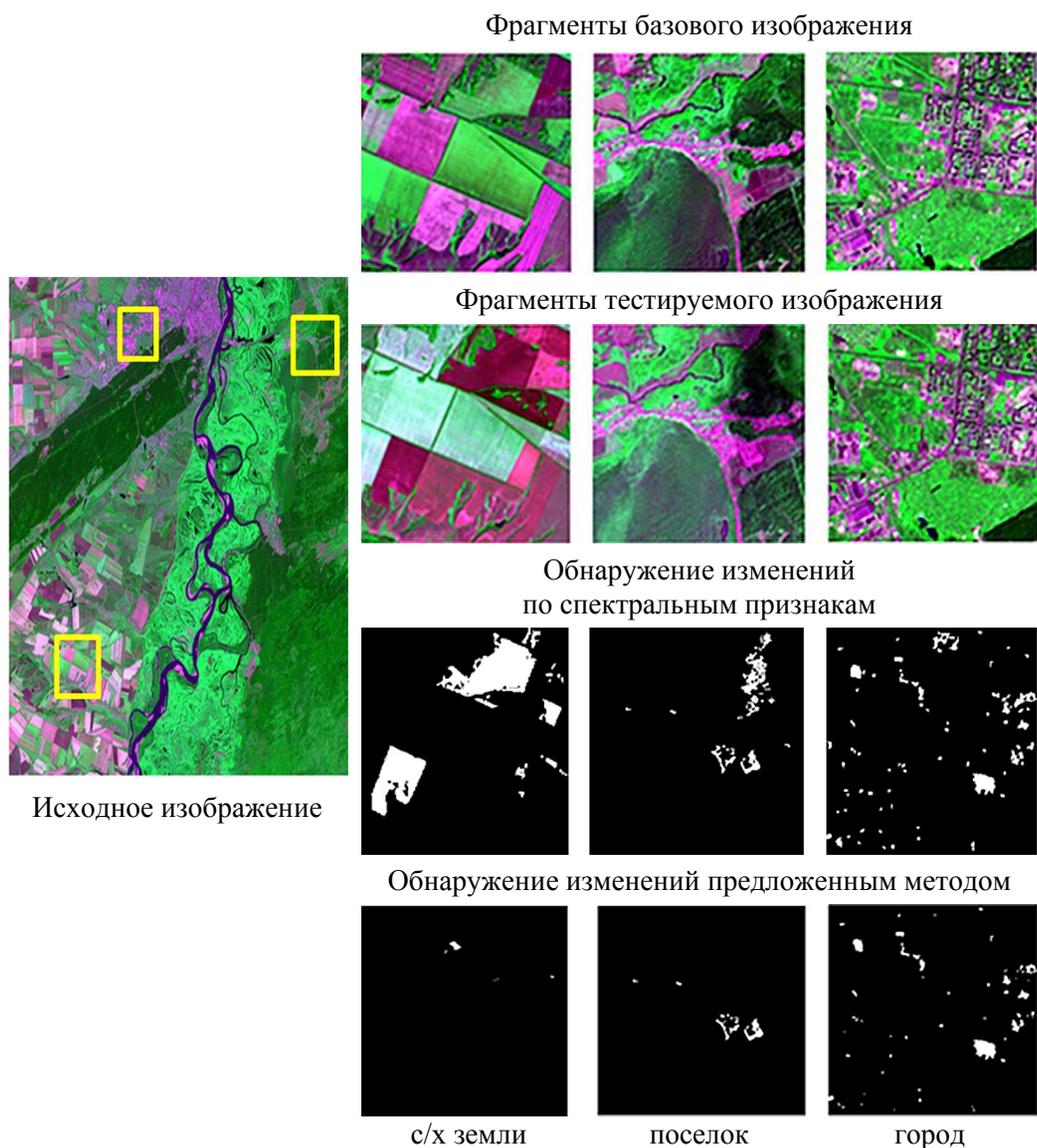


Рис. 2.49. Обнаружение изменений в инфраструктуре

Публикации:

1. Борзов С.М., Потатуркин А.О. Потатуркин О.И. Обнаружение изменений территории застройки на основе применения структурных признаков спутниковых изображений // Автометрия, 2015, № 4. С. 3–11.
2. Борзов С.М., Узилов С.Б. Разработка и исследование программно-алгоритмических средств анализа мультиспектральных изображений для обнаружения слабо-различимых антропогенных изменений растительного покрова [Электронный ресурс] // Всероссийская конференция «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (с. Усть-Сема, Республика Алтай, Россия, 24–28 августа 2015). Новосибирск: ИВТ СО РАН. 2015. С. 48–53. Режим доступа: <http://conf.nsc.ru/files/conferences/SDM-2015/294652/SDM-2015%20Thesis.pdf>
<http://conf.nsc.ru/SDM-2015/ru/reportview/273053>

3. Борзов С.М., Потатуркин О.И., Узилов С.Б. Обнаружение выборочных рубок леса по разновременным изображениям спутника SPOT // Всероссийская конференция с международным участием «Индустриальные информационные системы» «ИИС–2015» (г. Новосибирск, Россия, 20–24 сентября 2015). Новосибирск, КТИ ВТ СО РАН, 2015. С. 13–14.
4. Борзов С.М., Долговесов Б.С., Потатуркин О.И., Филиппов М.Н. Информационное обеспечение в системах наблюдения, позиционирования и отображения реальных сцен // Там же. С. 12–13.
5. Борзов С.М., Голицын А.В., Долговесов Б.С., Потатуркин О.И., Филиппов М.Н. Информационное обеспечение систем наблюдения распределенных роботизированных комплексов // Российская конференция по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника–2015» (г. Новосибирск, Россия, 12–16 октября 2015): тезисы. Новосибирск: ИФП СО РАН, 2015. С. 86.
6. Борзов С.М., Голицын А.В., Цивинский М.Ю. Перспективы использования электроуправляемых жидкостных линз в оптико-электронных системах // Там же. С. 171.
7. Борзов С.М., Потатуркин А.О., Потатуркин О.И., Федотов А.М. Исследование эффективности классификации гиперспектральных спутниковых изображений природных и антропогенных территорий // Автометрия, 2016, № 1. С. 3–14.
8. Борзов С.М., Пестунов И.А., Потатуркин О.И. Тематическая обработка гиперспектральных изображений при исследовании природных и антропогенных объектов [Электронный ресурс] // Там же. С. 8–15. Режим доступа: <http://conf.nsc.ru/files/conferences/SDM-2015/294652/SDM-2015%20Thesis.pdf>
9. Борзов С.М., Потатуркин А.О. Спектрально-пространственная классификация типов подстилающей поверхности по гиперспектральным данным // XI Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». Сб. материалов в 2 т., т. 2. Новосибирск: СГУГиТ, 2015. С. 13–17.
10. Борзов С.М., Пестунов И.А., Потатуркин О.И. Методы и технологии обработки гиперспектральных данных для мониторинга природной среды // XIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 55-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева «Решетневские чтения» (г. Красноярск, Россия, 10–14 ноября 2015). В 2 ч. Красноярск: Сибирский государственный аэрокосмический университет, 2015, ч. 1. С. 304–306.

Разработка принципа усвоения данных при решении задач прогнозирования динамических процессов на поверхности Земли. Экспериментальные исследования метода эмпирических мод в режиме сегментации спутниковых изображений. Экспериментальные исследования нейронных комплекснозначных сетей с многоуровневыми нейронами (ответственный исполнитель д.т.н. Нежевенко Е.С.).

Разработан метод моделирования динамических процессов на поверхности Земли в условиях априорной неопределенности. Усвоение данных обеспечивается обучением рекуррентной нейронной сети, которое происходит путем сравнения прогноза распространения процесса с помощью компьютерного моделирования и реального наблюдения области распространения. Поскольку метод предназначен для применения в оперативной обстановке, для ускорения процесса усвоения данных используется фильтр Калмана. Предложенный метод апробирован на нескольких видах динамических процессов (лесные пожары, наводнения и т. п.) и для

каждого из них показал хорошие результаты [1]. Большим преимуществом (для повышения точности моделирования) является возможность его применения совместно с любой математической моделью, описывающей процесс, и ее уточнения путем усвоения данных (рис. 2.50).



Рис. 2.50. Результаты моделирования процесса разлива нефтяного пятна, проведенного с помощью рекуррентной нейронной сети с учетом течения и ветра

Разработан метод классификации изображений на основе преобразования Гильберта–Хуанга (ННТ преобразования) главных компонент распознаваемых изображений [2]. В основе этого преобразования лежит предположение, что любые данные состоят из разнообразных внутренних колебаний, наложенных одно на другое. При этом спектральное разложение, в отличие от фурье-анализа, ведется только по тем колебаниям, которые присутствуют в анализируемом изображении. Каждое из составляющих представляет собой *intrinsic mode function* (эмпирическую моду). Завершающим шагом ННТ преобразования является преобразование Гильберта, которое позволяет выделить такие признаки, характеризующие сигнал, как мгновенные частоты и амплитуды каждой моды. Экспериментальная проверка предложенного метода на примере классификации мультиспектральных изображений дала нулевую ошибку. На гиперспектральном изображении эта ошибка достигала 0.4 %. Таким образом, показано, что Гильберт–Хуанг-преобразование, примененное к главным компонентам изображений, весьма эффективно при классификации мультиспектральных и гиперспектральных данных.

Проведены экспериментальные исследования классификации гиперспектральных изображений с помощью многоуровневых нейронных сетей, отличающихся от бинарных тем, что все веса и входные значения являются комплексными числами; а функция активации является функцией комплексного аргумента соответственно [3]. При классификации по 148 спектральным признакам в сети с бинарными нейронами ошибка распознавания составила 0.5 %, а в комплекснозначной сети – 1.8 % (с уменьшением времени обучения в 4.96 раза). Аналогичные исследования были проведены после сокращения количества признаков с помощью преобразования главных компонент. В результате для бинарных нейронных сетей ошибка составила 2.96 %, а для комплекснозначных – 2.9 % при сохранении соотношения времени обучения.

(Тематическая группа опико-электронных специализированных процессоров)

Публикации:

1. Феоктистов А.С., Нежевенко Е.С. Оперативное прогнозирование пространственно распределенных динамических процессов на поверхности Земли на основе усвоения данных // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, 2015, т. 13, № 2. С. 103–115.
2. Феоктистов А.С., Нежевенко Е.С. Классификация гиперспектральных изображений с помощью преобразования Гильберта – Хуанга // XI Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». Сб. материалов в 2 т., т. 2, Новосибирск: СГУГиТ, 2015.С. 23–27.
3. Дашевский О.Ю., Нежевенко Е.С. Классификация гиперспектральных изображений с помощью нейронных сетей с бинарными и многоуровневыми нейронами // Там же. С. 62–66.

Разработка новых подходов к решению задач локальной томографии и томографии области интереса, основанных на общих свойствах преобразования Радона. Теоретическое и экспериментальное исследование устойчивости алгоритмов реконструкции по отношению к шумам, обладающим различными статистическими характеристиками (ответственный исполнитель д.т.н. Лихачёв А.В.).

Предложен новый подход к решению задачи ROI (region of interest – область интереса) томографии в случае, когда для измерения доступны только усечённые проекции, т. е. периферийная (по отношению к центру вращения регистрирующей системы) часть данных на каждом направлении сканирования отсутствует. В основе разработанного метода лежит рекурсивная фильтрация имеющихся данных (вместо гаур-фильтрации). При помощи аппарата Z-преобразования рассчитано несколько рекурсивных фильтров. Показано, что по сравнению с гаур-фильтром и его аппроксимациями они имеют более узкую импульсную характеристику и меньше усиливают высокие частоты.

Проведенное математическое моделирование показало существенное уменьшение среднеквадратичной ошибки реконструкции по сравнению с алгоритмом Шеппа–Логпана, который в настоящее время является одним из основных для двумерной томографии. В частности, для размера области интереса ~ 15 % от размера объекта ошибка уменьшалась в 3.7–4.3 раза (в зависимости от коэффициентов рекурсивного фильтра). Вычисления с использованием данных, содержащих некоррелированный аддитивный шум, выявили высокую устойчивость решений. Пример приведён на рис. 2.51.

Исходя из полученных ранее результатов по изучению влияния случайных помех, имеющих различные корреляционные функции, на качество реконструкции, для подавления шума предложен новый фильтр. Его коэффициенты подбираются таким образом, чтобы форма корреляционной функции шумовой составляющей после фильтрации была близка к гауссовой кривой. Разработан метод расчета, с помощью которого определены коэффициенты симметричного фильтра длиной до 15 шагов сет-

ки. Применение такого фильтра позволило на 30 % уменьшить ошибку реконструкции по сравнению с усреднением скользящим окном, которое в настоящее время широко применяется в томографии для сглаживания проекционных данных.

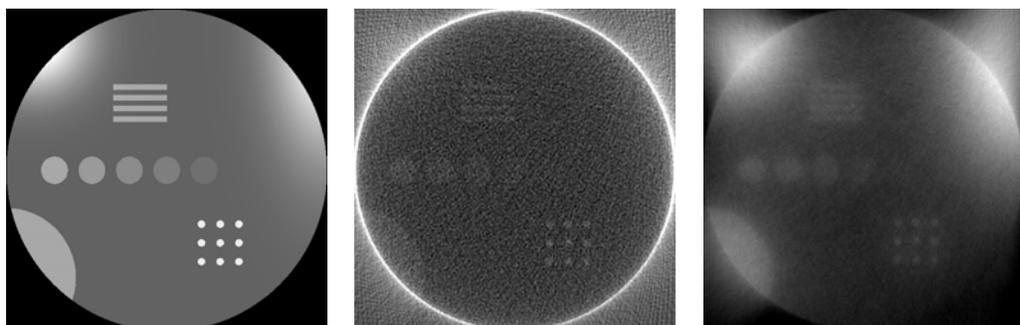


Рис. 2.51. Область интереса (слева) и её томограммы.

Реконструкция по 180 усечённым проекциям, уровень шума в данных 5 %.
Фильтрация Шеппа–Логана (в середине), ошибка $\Delta_{ROI} = 0.874$;
предлагаемая рекурсивная фильтрация (справа), $\Delta_{ROI} = 0.178$

(Тематическая группа информатики и прикладной математики)

Публикации:

1. Лихачев А.В., Шиббаева Ю.А. Зависимость точности томографической реконструкции от корреляционной функции шума в проекционных данных // Цифровая обработка сигналов, 2015, № 2. С. 28–34.
2. Лихачев А.В. Применение условия Кавальери в задаче ROI-томографии // Автометрия, 2015, т. 51, № 4. С. 53–61.

Совершенствование алгоритмов работы подсистем и экспериментальные исследования программно-аппаратного комплекса АСУ Большого солнечного вакуумного телескопа в процессе его опытной эксплуатации. Разработка методик и программного обеспечения для тестирования модели устройства фильтрации запросов к интернет-контенту на основе анализа интернет-протоколов (ответственные исполнители: к.т.н. Лубков А.А., к.т.н. Бевзов А.Н., к.т.н. Будников К.И.).

Разработаны и реализованы алгоритмы и аппаратные средства для расширения возможностей АСУ Большого солнечного вакуумного телескопа (БСВТ) [1, 2] с гелиостатной питающей оптикой (п. Листвянка, Байкал).

Для установки центра изображения Солнца на щель спектрографа разработан и реализован алгоритм автоматического наведения телескопа на Солнце [3]. По эфемеридам рассчитывается значение позиции энкодеров гелиостата и координатометра для текущих значений времени суток и даты. Время определяет положение координатометра по X , зеркала сидеростата по α ; дата – положение зеркала по δ . Координатометр и зеркало сидеростата переводятся в расчетные положения с погрешностью, определяемой разрешением энкодеров, при этом изображение солнца обяза-

тельно попадет хотя бы на один из четырех датчиков модуля слежения [4]. С помощью сканирования зеркала сидеростата α и δ переводятся в режим гидирования, в котором их скорость и направление вращения определяются знаком и величиной рассогласований, формируемых модулем слежения по пространственным координатам. В результате изображение Солнца будет смещаться к центру палетки до тех пор, пока оба сигнала рассогласования не станут равны нулю.

Для улучшения оптических характеристик телескопа разработаны и реализованы алгоритм [5] и аппаратура управления градиентом температуры, которые обеспечивают поддержание заданной разности температур между центром и краем защитной стеклянной пластины верхнего иллюминатора вакуумной трубы телескопа. Оператор имеет возможность внести поправку в градиент температуры на основании визуального наблюдения интерферограммы верхнего иллюминатора.

Аппаратные средства для точного измерения градиента температуры разработаны на основе измерительного модуля *ioLogik EI262*. Предложено для обеспечения необходимой точности использовать дополнительный измерительный усилитель и дифференциальное подключение термопар, установленных в центре стекла и на его оправе. Такое решение позволило непосредственно измерять разность температур стекла и оправы и исключить необходимость калибровки термопар и учёта их нелинейности.

Усовершенствование АСУ БСВТ позволяет повысить точность измерений при исследованиях Солнца в Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН.

Разработаны схема стенда, методика испытаний и необходимое программное обеспечение для исследования представленной ранее программной модели HTTP-фильтра и ряда ее модификаций, в том числе способа фильтрации с пост-анализом HTTP-запросов [6]. Стенд представляет собой выделенную локальную сеть, объединяющую три компьютера: эмуляторы WEB-клиента и WEB-сервера, а также помещенное в разрыв между ними фильтрующее устройство (рис. 2.52).



Рис. 2.52. Схема стенда для проведения испытаний фильтрующего устройства

Процесс обращения к интернет-ресурсу по протоколу HTTP эмулируется локально. Для этого на компьютер-эмулятор WEB-клиента установлен программный модуль (К), посылающий запросы компьютеру с

программным эмулятором WEB-сервера (С), который формирует ответы на полученные запросы (рис. 2.53). Дополнительно сервер и клиент могут создавать нецелевой трафик, в качестве которого выступают почтовые сессии протоколов SMTP, POP3 и IMAP [7]. Компьютер с программной моделью http-фильтра (Ф) регламентирует доступ к ресурсам сервера в соответствии с установленными критериями. Для определения различных параметров тестового трафика на эмуляторе WEB-клиента размещается программный модуль измерения (И).

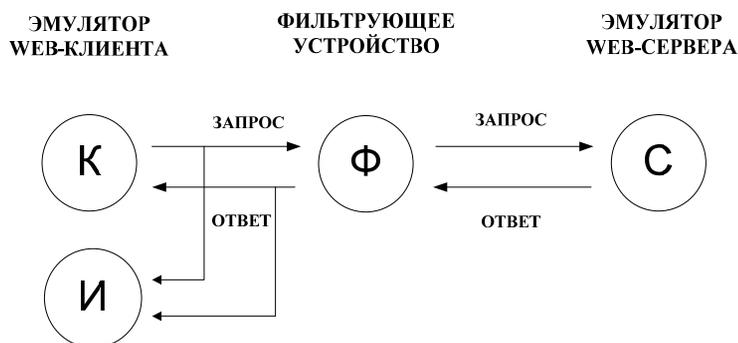


Рис. 2.53. Схема взаимодействия программных модулей стенда для проведения испытаний фильтрующего устройства

Создан инструментарий для испытания фильтрующих устройств и исследования их возможностей, как по обработке http-запросов, так и пропуску нецелевого трафика, а также комбинации данных видов нагрузки. Возможно использование потоков запросов с различной интенсивностью и размерами передаваемых данных. Для анализа могут быть использованы следующие данные от модуля измерения: общая интенсивность прошедшего через фильтр тестового сетевого трафика; интенсивность http-трафика; интенсивность нецелевого трафика; интенсивность http-запросов; среднее время ответа WEB-сервера.

(Лаборатория интегрированных информационных систем управления)

Публикации:

1. Лубков А.А., Власов С.В., Котов В.Н., Максимов А.С., Попов Ю.А. Распределенная система управления солнечным вакуумным телескопом // Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2015», посвященной 90-летию со дня рождения академика Гурия Ивановича Марчука (г. Новосибирск, Россия, 19–23 октября 2015), ИВМиМГ СО РАН, 2015, Новосибирск: Абвей, 916 с. С. 472–476.
2. Власов С.В. Использование интерфейса IPMI в системах промышленной автоматики // Всероссийская конференция с международным участием «Индустриальные информационные системы» ИИС–2015 (г. Новосибирск, Россия, 20–24 сентября 2015). Новосибирск, КТИ ВТ СО РАН, 2015. С. 16–17.
3. Лубков А.А., Ковадло П.Г., Бевзов А.Н., Будников К.И., Власов С.В., Зотов А.А., Колобов Д.Ю., Курочкин А.В., Котов В.Н., Лылов С.А., Лях Т.В., Максимов А.С., Перебейнос С.В., Петухов А.Д., Пещеров В.С., Попов Ю.А., Русских И.В., Томин В.Е. Система автоматизации большого солнечного вакуумного телескопа // Автометрия, 2016 (принята в печать).

4. Котов В.Н., Лубков А.А., Власов С.В., Перебейнос С.В. Фотоэлектрическое устройство для слежения за Солнцем // Заявка на полезную модель № 2015146790 / (071978), приоритет 29.10.2015 г.
5. Максимов Ал. С. Моделирование и разработка устройства термокомпенсации иллюминатора вакуумной трубы солнечного телескопа // 53 Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–17 апреля 2015). С. 77.
6. Будников К.И., Курочкин А.В. Способ фильтрации потока HTTP-пакетов на основе пост-анализа запросов к Интернет-ресурсу и устройство фильтрации для его реализации // Заявка на изобретение № 2015114186/08 (022237), приоритет от 16.04.2015 г.
7. Будников К.И., Курочкин А.В., Лубков А.А., Яковлев А.В. Оценка датчиков мониторинга электронной почты с помощью синтетического теста TransMail // Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2015», посвященной 90-летию со дня рождения академика Гурия Ивановича Марчука (г. Новосибирск, Россия, 19–23 октября 2015), ИВМиМГ СО РАН, 2015, Новосибирск: Абвей, 916 с. С. 140–143.

Экспериментальное исследование алгоритмов и базового программного обеспечения процесса калибровки высокоточных угловых преобразователей углоизмерительной машины АЭ.1686 (ответственные исполнители: д.т.н. Кирьянов В.П., д.т.н. Зюбин В.Е.).

Проведено компьютерное моделирование и экспериментальное исследование базового и модифицированного алгоритмов калибровки референтного датчика углоизмерительной машины (УИМ) АЭ.1686. Алгоритмы калибровки основаны на использовании фазостатистического метода [1–3] и должны обеспечить заданную точность измерений на уровне $\pm 0,3''$ в производственных условиях при применении в качестве эталонного датчика серийного углового преобразователя с собственной погрешностью $\pm 1,0''$.

Задача повышения точности измерений решена путём программной компенсации систематической погрешности референтного датчика УИМ. Показано, что использование базового алгоритма калибровки позволяет снизить погрешность референтного датчика до $\pm 0,1''$ при приемлемом (для производственных условий) числе сличений ($n = 5, 10, 15$). Полученное значение погрешности калибровки определяется искажающим вкладом эталонного датчика в итоговый результат и в зависимости от числа сличений может составлять до 30 % величин вводимых поправок.

Дальнейшее повышение точности калибровки может быть достигнуто с помощью модифицированного алгоритма. Он позволяет уточнить величину искажений, вносимых эталонным датчиком в калибровку каждого штриха референтного датчика УИМ, и при том же числе сличений снизить погрешность калибровки до 1 % от значения вводимой поправки [3, 4].

Разработано программное обеспечение процедуры калибровки высокоточных угловых преобразователей УИМ. Полученные файлы погрешности шкалы рабочего датчика и погрешности шкалы референтного

датчика используются для коррекции результатов измерения и тестирования [5].

(Лаборатория интегрированных информационных систем управления, Тематическая группа языковых средств проектирования информационных систем управления)

Публикации:

1. Кирьянов В.П., Зюбин В.Е., Кирьянов А.В., Лубков А.А., Максимов А.С. Моделирование инструментальной погрешности фотоэлектрических преобразователей комбинированного типа, обусловленной неточностью изготовления раstra // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии, 2015, т. 13, вып. 2. С. 34–41.
2. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Максимов А.С., Чуканов В.В. Автоматизированный контроль точности прецизионных углоизмерительных структур Ч.1: Дифференциальный метод контроля // Измерительная техника (принята в печать).
3. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Измайлов К.О., Максимов А.С., Перебейнос С.В., Чуканов В.В. Автоматизированный контроль точности прецизионных углоизмерительных структур. Ч. 2: Калибровка базовых угловых датчиков измерительной системы // Измерительная техника (подготовлена к печати).
4. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Измайлов К.Ю., Максимов А.С. Способ калибровки углового датчика // Заявка на изобретение № 2015119867/28 МПК G01C1/02, приоритет от 26.05.2015 г.
5. Максимов Ан. С. Исследование программно-аппаратных методов компенсации инструментальной погрешности угловых фотоэлектрических преобразователей // 53 Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–17 апреля 2015). С. 24.

Определение требований к автоматизированному тестированию алгоритмов управления сложными техническими системами, определение понятийного аппарата спецификации тестов и контроля результатов их прохождения (ответственный исполнитель д.т.н. Зюбин В.Е.).

Предложен способ верификации алгоритмов управления сложными техническими системами на базе подхода Model checking (рис. 2.54). В качестве понятийного аппарата для спецификации тестов используется понятийный аппарат процесс-ориентированного программирования (модель гиперпроцесса), поддержанный как лингвистическими средствами (язык процесс-ориентированного программирования Рефлекс), так и инструментальными средствами (транслятор языка Рефлекс и IDE на основе редактора Notepad++). На тестовых задачах показано, что с помощью языка Reflex возможны кроме, собственно, спецификации алгоритмов управления также и спецификации тестовых моделей. Штатные инструментальные средства обеспечивают автоматическое преобразование создаваемых спецификаций в исполняемый код, который в отличие от существующих методик, используемых в подходе Model checking, не требует дополнительных затрат на реализацию и отладку.

Общая схема автоматической верификации управляющего алгоритма методом Model Checking

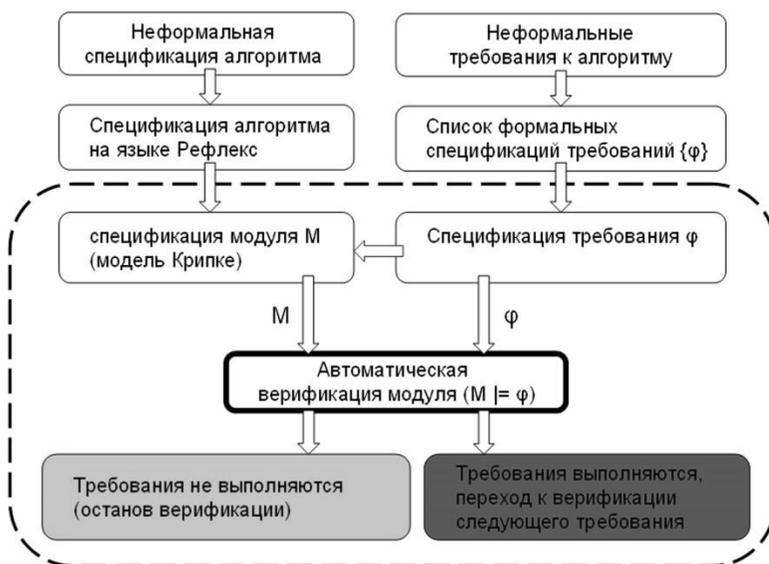


Рис. 2.54. Общая схема автоматической верификации управляющего алгоритма методом Model Checking

(Тематическая группа языковых средств проектирования информационных систем управления)

Публикации:

1. Кирьянов В.П., Зюбин В.Е., Кирьянов А.В., Лубков А.А., Максимов А.С. Моделирование инструментальной погрешности фотоэлектрических преобразователей комбинированного типа, обусловленной неточностью изготовления раstra // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии, 2015, т. 13, вып. 2. С. 34–41.
2. Кузнецов С.А. Специализированные САПР – результат предметно-ориентированного подхода к разработке программных продуктов // Автоматизация и современные технологии, 2015, № 2. С. 14–19.
3. Лубков А.А., Ковадло П.Г., Бевзов А.Н., Будников К.И., Власов С.В., Зотов А.А., Колобов Д.Ю., Курочкин А.В., Котов В.Н., Лылов С.А., Лях Т.В., Максимов А.С., Перебейнос С.В., Петухов А.Д., Пещеров В.С., Попов Ю.А., Русских И.В. Система автоматизации большого солнечного вакуумного телескопа // Автометрия (в печати).
4. Сизов М.М., Зюбин В.Е. Конфигурируемый вычислитель на базе FPGA для потоковой обработки видеосигналов // Цифровая обработка сигналов (в печати).
5. Розов А.С. Расширенная модель гиперпроцесса для программирования микроконтроллеров // Научное обозрение (в печати).
6. Andrey S. Rozov, Vladimir E. Zyubin A hyperprocess-based approach in Arduino programming // International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'15) (Antalya, Turkey, August 4–7, 2015) (в печати).

НАПРАВЛЕНИЕ IV.36. Системы автоматизации, CALS-технологии, математические модели и методы исследования сложных управляющих систем и процессов.

ПРОГРАММА IV.36. Новые решения проблем исследования и математического моделирования сложных динамических систем и процессов и их приложения в задачах проектирования, автоматизации и управления. Координатор чл.-корр. РАН В.В. Шайдуров.

Проект IV.36.1.6. Построение моделей и разработка методов управления сложными динамическими объектами и процессами. Системы для автоматизированных измерений и управления исследовательскими установками, технологическими процессами. № гос. рег. 01201365440.

Исполнители проекта:

Лаборатория нечётких технологий (ответственные исполнители: к.т.н. Нестеров А.А., к.т.н. Филиппов М.Н., к.т.н. Ян А.П., д.т.н. Золотухин Ю.Н.).

Тематическая группа автоматизации измерительных технологий (ответственный исполнитель Сковородин И.Н.).

Тематическая группа встроенных систем управления и обработки сигналов (ответственный исполнитель Литвинцев В.И.).

Научный руководитель д.т.н. **Золотухин Ю.Н.**

Разработка методов управления беспилотными летательными аппаратами (ответственные исполнители: к.т.н. Нестеров А.А., к.т.н. Филиппов М.Н., к.т.н. Котов К.Ю.).

Постановка задачи и описание объекта управления.

Под управлением ориентацией летательного аппарата (ЛА) здесь понимается целесообразное изменение значений углов рыскания ψ , тангажа ϑ и крена γ .

Алгоритм управления.

Будем считать, что известны желаемые значения углов $\psi = \psi_{ref}$, $\vartheta = \vartheta_{ref}$ и $\gamma = \gamma_{ref}$, обеспечивающие требуемый режим полёта. Наша задача – путём использования органов управления ЛА перевести значения эйлеровых углов из произвольного начального состояния в заданные значения ψ_{ref} , ϑ_{ref} , γ_{ref} по траекториям, удовлетворяющим требованиям к качеству переходных процессов.

При полёте над плоской Землёй для описания ориентации ЛА достаточно знания углов ψ , ϑ и γ . В этом случае проекции вектора угловой скорости аппарата на связанные оси определяются кинематической системой дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \omega_x &= \dot{\gamma} + \dot{\psi} \sin \vartheta; \\ \omega_y &= \dot{\psi} \cos \vartheta \cos \gamma + \dot{\vartheta} \sin \gamma; \\ \omega_z &= -\dot{\psi} \cos \vartheta \sin \gamma + \dot{\vartheta} \cos \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

имеющей обращённую форму

$$\left. \begin{aligned} \dot{\gamma} &= \omega_x - \tan \vartheta \cdot (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma); \\ \dot{\psi} &= \frac{1}{\cos \vartheta} \cdot (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma); \\ \dot{\vartheta} &= \omega_y \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

а закон изменения вектора угловой скорости определяется системой динамических уравнений

$$\left. \begin{aligned} \dot{\omega}_x &= \frac{1}{I_x} M_x - \frac{I_z - I_y}{I_x} \cdot \omega_y \omega_z; \\ \dot{\omega}_y &= \frac{1}{I_y} M_y - \frac{I_x - I_z}{I_y} \cdot \omega_z \omega_x; \\ \dot{\omega}_z &= \frac{1}{I_z} M_z - \frac{I_y - I_x}{I_z} \cdot \omega_x \omega_y. \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

В дальнейшем будем пользоваться более компактной векторно-матричной формой записи нелинейных дифференциальных уравнений (2.13) и (2.14):

$$\left. \begin{aligned} \dot{\bar{\Gamma}} &= \bar{F}_1(\bar{\omega}, \bar{\Gamma}); \\ \dot{\bar{\omega}} &= \bar{F}_2(\bar{\omega}) + B \cdot \bar{M}, \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

где векторы $\bar{\Gamma}$, $\bar{\omega}$, \bar{M} определены ранее, а значения векторов \bar{F}_1 и \bar{F}_2 и диагональной матрицы B следуют из сопоставления правых частей уравнений (2.15) и систем (2.13) и (2.14) соответственно.

В уравнениях (2.15) под \bar{M} будем понимать некоторое требуемое значение момента \bar{M}_{ref} , позволяющее перевести значения углов $\bar{\Gamma}$ в требуемое значение $\bar{\Gamma}_{ref}$ по желаемой траектории $\bar{S}(t)$, которую будем определять уравнением

$$\bar{S}(t) = \dot{\bar{\Gamma}}(t) - K_1 \cdot (\bar{\Gamma}(t) - \bar{\Gamma}_{ref}) = 0. \quad (2.16)$$

Для выполнения условия (2.16), т. е. реализации вынужденного движения системы (2.15) по заданной траектории, будем определять \bar{M}_{ref} из условия

$$\dot{\bar{S}}(t) = -K_2 \cdot \bar{S}(t), \quad (2.17)$$

что с учётом (2.16) приводит нас к линейному относительно $\bar{\Gamma}(t)$ дифференциальному уравнению второго порядка

$$\ddot{\bar{\Gamma}} = -(K_1 + K_2) \cdot \dot{\bar{\Gamma}} - K_1 \cdot K_2 (\bar{\Gamma} - \bar{\Gamma}_{ref}), \quad (2.18)$$

определяющему необходимое значение $\ddot{\Gamma}$ для движения системы по траектории (2.16).

В уравнениях (2.16) и (2.17) коэффициенты диагональных матриц K_1 и K_2 выбираются из условия устойчивого переходного процесса системы (2.18) в точку. Вращающий момент \overline{M} в соответствии с (2.15) может влиять на $\ddot{\Gamma}$ только через изменения вектора угловых скоростей $\overline{\omega}$. Из системы (2.15) получим

$$\ddot{\Gamma} = \frac{\partial \overline{F}_1(\overline{\omega}, \overline{\Gamma})}{\partial \overline{\omega}} \cdot \dot{\overline{\omega}} + \frac{\partial \overline{F}_1(\overline{\omega}, \overline{\Gamma})}{\partial \overline{\Gamma}} \cdot \dot{\overline{\Gamma}} \quad (2.19)$$

и, подставляя $\dot{\overline{\omega}}$, $\dot{\overline{\Gamma}}$ из (2.15) в (2.19), получим

$$\ddot{\Gamma} = \frac{\partial \overline{F}_1(\overline{\omega}, \overline{\Gamma})}{\partial \overline{\omega}} \cdot \overline{F}_2(\overline{\omega}) + \frac{\partial \overline{F}_1(\overline{\omega}, \overline{\Gamma})}{\partial \overline{\Gamma}} \cdot \dot{\overline{\Gamma}} + \frac{\partial \overline{F}_1(\overline{\omega}, \overline{\Gamma})}{\partial \overline{\omega}} \cdot B \cdot \overline{M}. \quad (2.20)$$

Для вычисления желаемого значения $\overline{M} = \overline{M}_{ref}$ приравняем правые части соотношений (2.18) и (2.20). Опустив обозначения переменных в функциях \overline{F}_1 и \overline{F}_2 , после несложных преобразований получим

$$\overline{M}_{ref} = -inv(B) \cdot \left[\overline{F}_2 + inv \left(\frac{\partial \overline{F}_1}{\partial \overline{\omega}} \right) \cdot \left(\left(\frac{\partial \overline{F}_1}{\partial \overline{\Gamma}} + K_1 + K_2 \right) \cdot \dot{\overline{\Gamma}} + K_1 \cdot K_2 \cdot (\overline{\Gamma} - \overline{\Gamma}_{ref}) \right) \right]. \quad (2.21)$$

Соотношение (2.21) определяет вектор так называемых потребных значений вращающих моментов, позволяющих установить и поддерживать значения углов.

Углы отклонения управляющих поверхностей.

Рассмотрим вопрос определения углов отклонения рулей ЛА для получения требуемого значения момента \overline{M}_{ref} . Эффективность рулей зависит от скорости аппарата, плотности воздуха и многих других параметров полёта, наиболее существенными из которых являются скорость движения и углы атаки α и скольжения.

В общем случае значение располагаемого момента \overline{M}_{av} можно представить в виде

$$\overline{M}_{av}(\alpha, \beta, \overline{\delta}) = \overline{M}_0(\alpha, \beta) + \frac{\partial \overline{M}(\alpha, \beta, \overline{\delta})}{\partial \overline{\delta}} \cdot \overline{\delta}. \quad (2.22)$$

В (2.22) $\overline{\delta} = (\delta_a, \delta_r, \delta_e)^T$ – вектор углов отклонений обобщённых рулей крена, курса и высоты соответственно; $\overline{M}_0(\alpha, \beta)$ – момент вращения, создаваемый воздушным потоком при нулевых отклонениях рулей. Для создания момента в соответствии с (2.21) необходимо отклонить рули на углы

$$\overline{\delta}_{ref} = inv \left(\frac{\partial \overline{M}(\alpha, \beta, \overline{\delta})}{\partial \overline{\delta}} \right) \cdot (\overline{M}_{ref} - \overline{M}_0(\alpha, \beta)). \quad (2.23)$$

Последнее соотношение справедливо при зависимости $\overline{M}_{av}(\alpha, \beta, \overline{\delta})$ от $\overline{\delta}$, близкой к линейной при ограниченных углах.

Результаты моделирования.

Предложенный метод управления ориентацией летательного аппарата реализован в среде MATLAB/Simulink. На рис. 2.56–2.58 представлены графики переходных процессов углов Эйлера, угловых скоростей и потребных моментов соответственно.

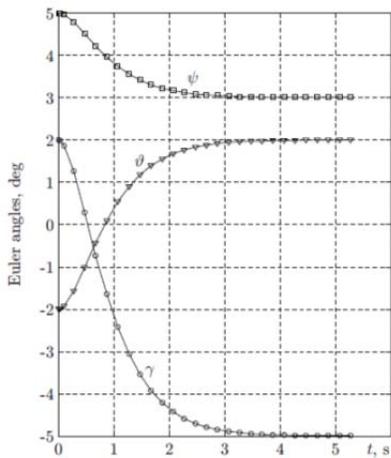


Рис. 2.56. Углы Эйлера

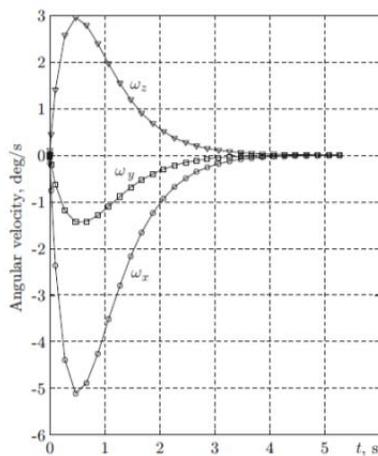


Рис. 2.57. Угловые скорости

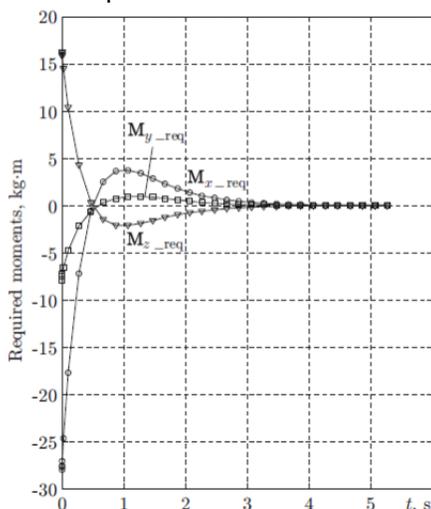


Рис. 2.58. Потребные моменты

(Лаборатория нечётких технологий)

Публикации:

1. Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А. Управление угловым положением летательного аппарата // Автометрия, 2015, т. 51, № 5. С. 35–41.
2. Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Пивкин В.Я., Соболев М.А., Филиппов М.Н., Ян А.П. Робастное управление подвижными объектами в группе лидер-ведомые с использованием метода структурного анализа // Там же. С. 82–91.
3. Zolotukhin Yu.N., Kotov K.Yu., Maltsev A.S., Nesterov A.A., Sobolev M.A. and Filippov M.N. A relative measurement based leader-follower formation control of mobile robots // ICINCO 2015. 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, v. 2 (Colmar, Alsace, France, June, 2015). Proceedings. P. 310–313.

Разработка многоканальной системы для исследования и испытания суперконденсаторов (ответственный исполнитель Сквородин И.Н.).

Работа выполнялась совместно с Институтом химии твердого тела и механохимии (ИХТТМ) СО РАН.

Цель работы – создание автоматизированного стенда для исследования и испытаний суперконденсаторов. Предложена архитектура автоматизированной измерительной системы. Проведена модернизация измерительно-питающего устройства ИПУ-01. На рис. 2.59 представлена структурная схема ИПУ-01 с подключенной трехэлектродной ячейкой.

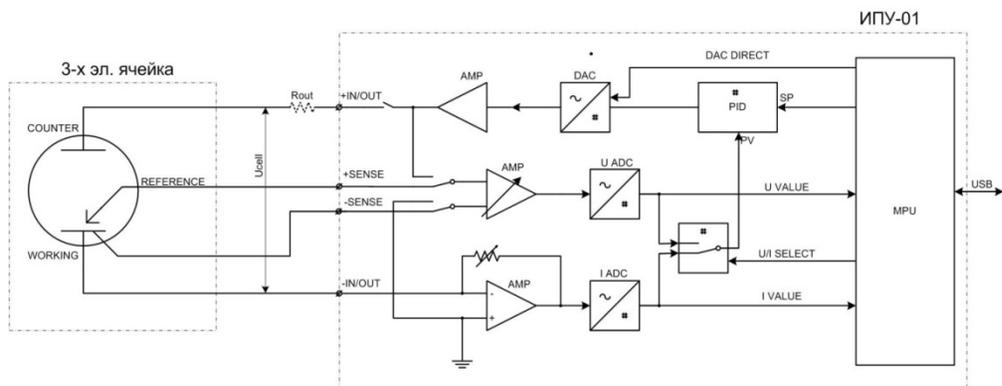


Рис. 2.59. Структурная схема ИПУ-01 с подключенной трёхэлектродной ячейкой

Разработаны конструкция двухэлектродных и трехэлектродных электрохимических ячеек и конструкция перфоратора для изготовления сепараторов, используемых при «зарядке» ячеек. На рис. 2.60, *а* изображена двухэлектродная ячейка, *б* – трехэлектродная ячейка, *в* – перфоратор с электромеханическим приводом: 1 – моторредуктор; 2 – тяга; 3 – корпус; 4 – плунжер.

Разработана функциональная схема автоматизированного стенда для экспериментальной работы с двух- и трехэлектродными электрохимическими ячейками. Создана установка многоканального кондуктометрического титрования. Разработана структурная схема 8-канального гальваностата/потенциостата.

В результате проделанной работы в ИХТТМ СО РАН создана многоканальная система для исследования и испытания суперконденсаторов. Система включает: автоматизированное рабочее место на базе модернизированного ИПУ-01 и двух- и трёхпроводных ячеек, персональный компьютер; 8-канальную установку кондуктометрического титрования на базе Landt СТ2001А с восемью электрохимическими ячейками.

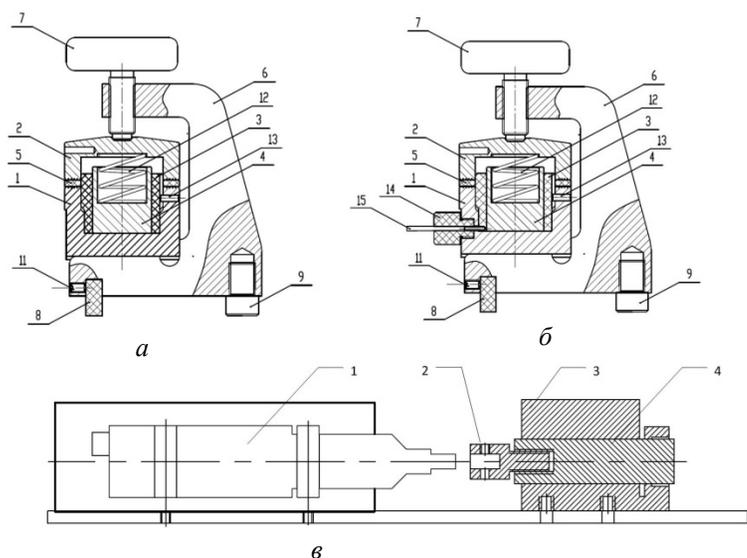


Рис. 2.60. Электрохимические ячейки и перфоратор

(Тематическая группа автоматизации измерительных технологий)

Публикации:

1. Ukhina A.V., Dudina D.V., Anisimov A.G., Mali V.I., Bulina N.V., Bataev I.A., Skovorodin I.N., Bokhonov B.B. Porous electrically conductive materials produced by Spark Plasma Sintering and hot pressing of nanodiamonds // *Ceramics International*, 2015, v. 41, iss. 9, part B. P. 12459–12463.
2. Dudina D.V., Ukhina A.V., Bokhonov B.B., Mali V.I., Anisimov A.G., Bulina N.V., Skovorodin I.N. Nickel-Graphite Composites of variable architecture by graphitization-accompanied spark plasma sintering and hot pressing and their response to phase separation // *Science of Sintering*, 2015, v. 47. P. 237–248.

Разработка элементов автоматизированной системы управления установками для задач исследования и производства микробиологической продукции (ответственный исполнитель Литвинцев В.И.).

Цель работы – создание автоматизированной системы для управления исследовательскими и производственными установками на ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор».

В состав системы входят:

- устройство позиционирования изделия с системами дозирования биологических растворов, стабилизации или коррекции температуры растворов, регулирования параметров;
- контроллер, управляющий двигателями (до 5 шт.), клапанами пневмосистемы и дозаторов (до 16 шт.) и осуществляющий опрос датчиков температуры и давления (до 16 шт.).

На рис. 2.61 представлена схема устройства дозирования биологических растворов в объемах 1–5 миллилитров.

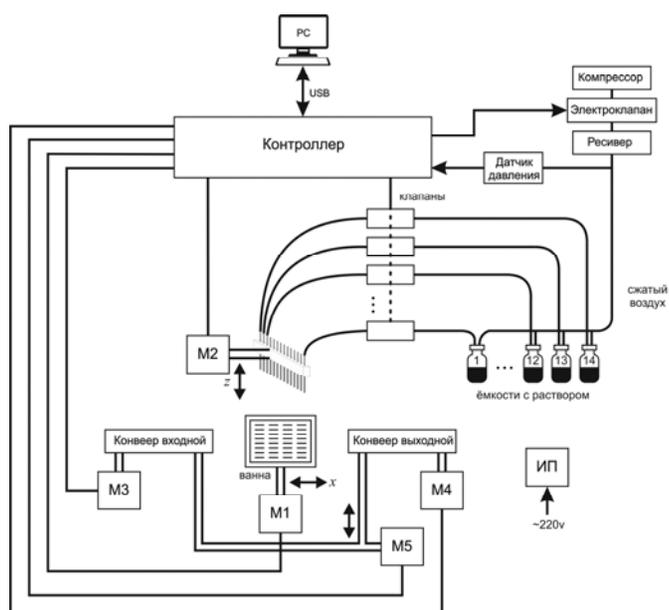


Рис. 2.61. Структурная схема конвейерного устройства дозирования биологических растворов

На рис. 2.62 представлена схема устройства дозирования биологических растворов в объемах 1–2 микролитров при изготовлении биочипов.

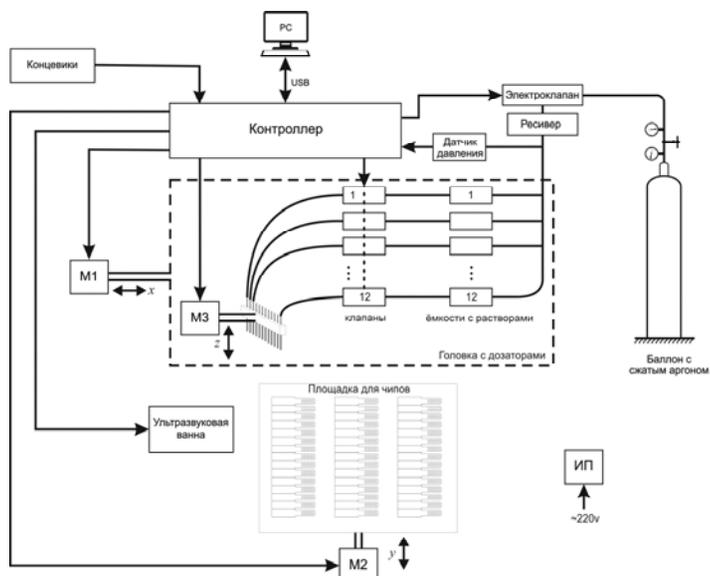


Рис. 2.62. Структурная схема устройства изготовления биочипов

Разработано базовое программное обеспечение автоматизированных систем, программные драйверы и управляющая программа, реализующая пользовательские интерфейсы и исполнение функций системы (определение и запуск заданий, изменение параметров, мониторинг состояний, ведение журнала событий и др.).

Для оперативной диагностики инфекций и заболеваний пациентов разработаны алгоритм и тестовая программа анализа изображения биочипа (рис. 2.63).

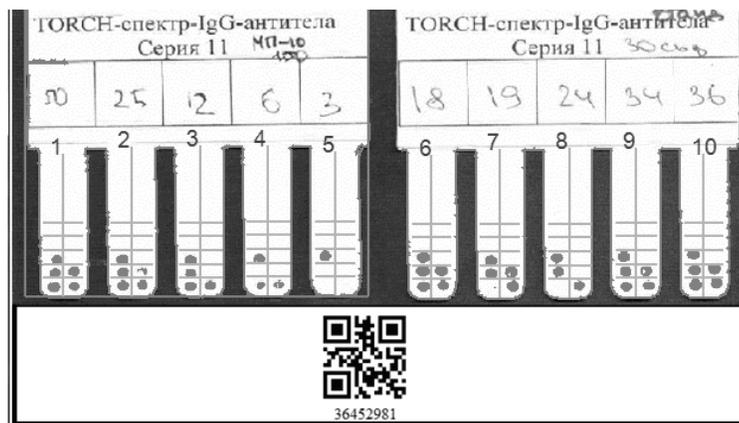


Рис. 2.63. Образцы биочипов

(Тематическая группа встроенных систем управления и обработки сигналов совместно с ИФП СО РАН)

Проект IV.36.1.7. Математическое моделирование интегрированных программно-аппаратных систем в задачах формирования, анализа и представления последовательности изображений и автоматизации сложных динамических процессов.

№ гос. рег. 01201364507.

Исполнители проекта:

Лаборатория цифровых методов обработки изображений (ответственные исполнители: д.т.н. Киричук В.С., к.т.н. Косых В.П.).

Лаборатория вероятностных методов исследования информационных процессов (ответственный исполнитель д.т.н. Резник А.Л.).

Лаборатория синтезирующих систем визуализации (ответственный исполнитель к.т.н. Долговесов Б.С.).

Лаборатория программных систем машинной графики (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Лаврентьев М.М.).

Тематическая группа магистрально-модульных систем (ответственный исполнитель к.т.н. Сердюков О.В.).

Научный руководитель д.т.н. **Киричук В.С.**

Исследование эффективности алгоритмов обнаружения малоразмерных и протяжённых объектов в последовательностях изображений, получаемых с устройств регистрации, размещенных на стационарных и подвижных носителях (ответственные исполнители: д.т.н. Киричук В.С., к.т.н. Косых В.П.).

Цель исследований текущего этапа состояла в повышении эффективности оптико-электронных средств обнаружения малоразмерных объектов за счет согласования параметров оптического тракта, матричного фотоприемника и способа обработки. Получены согласованные с алгоритмом обнаружения оптимальные соотношения между параметрами фотоприемника и оптического канала. Реализация полученных соотношений в системе обнаружения позволяет снизить вероятность пропуска объектов более чем вдвое.

Характерной особенностью матричных «смотрящих» приборов является принципиальная невозможность пространственной дискретизации регистрируемого изображения с шагом, меньшим, чем размер фоточувствительного элемента (ФЧЭ) приемника. Для обнаружения «точечных» объектов, размеры которых определяются функцией рассеяния точки (ФРТ) оптической системы, формирующей изображения, эта особенность имеет решающее значение. Это требует оптимизации как соотношения между шагом дискретизации, размером ФЧЭ и размером ФРТ, так и способа последующей обработки сигнала.

Исследована характеризующая минимальной амплитудой обнаруживаемого сигнала (при заданных вероятностях ложных тревог и пропуска P_f и P_m) эффективность обнаружения «точечных» объектов в изображении, регистрируемом матричным фотоприемником, в зависимости от соотношения между размером ФРТ, размером и шагом ФЧЭ приемника при различных методах оценивания амплитуды объекта. Минимаксная оценка минимальной амплитуды A_d сигнала, обнаруживаемого при СКО независимого шума σ , дается соотношением

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_T^\infty \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(z - \frac{A_d}{\sigma} \min_{\varepsilon, \delta} U(\varepsilon, \delta) \right) \right]^2 \right\} dz = 1 - P_m,$$

где T – пороговый уровень, определяемый допустимой вероятностью ложных тревог, а $U(\varepsilon, \delta)$ – пеленгационная характеристика системы обнаружения, зависящая как от параметров системы регистрации, так и от алгоритма обработки изображений, реализующего оценивание амплитуды. Получены оценки эффективности для обнаружения объекта посредством применения: фильтра, согласованного с формой объекта, проектируемого в центр ФЧЭ (центрального), усредненного фильтра, построенного в предположении равновероятного относительно ФЧЭ положения объекта, адаптивного фильтра, реализующего совместное оценивание положения и амплитуды объекта, и 4-канального фильтра, являющегося аппроксимацией предыдущего. Для всех рассмотренных способов обнаружения характерно наличие оптимального соотношения размеров ФРТ и ФЧЭ, обеспечивающего минимальное значение амплитуды обнаруживаемого объекта. Рис. 2.64. иллюстрирует зависимость обнаруживаемой при $P_f = 10^{-5}$ и $P_m = 0.95$ амплитуды от размера ФРТ. Верхний график показывает эффективность обнаружения объекта в исходном изображении.

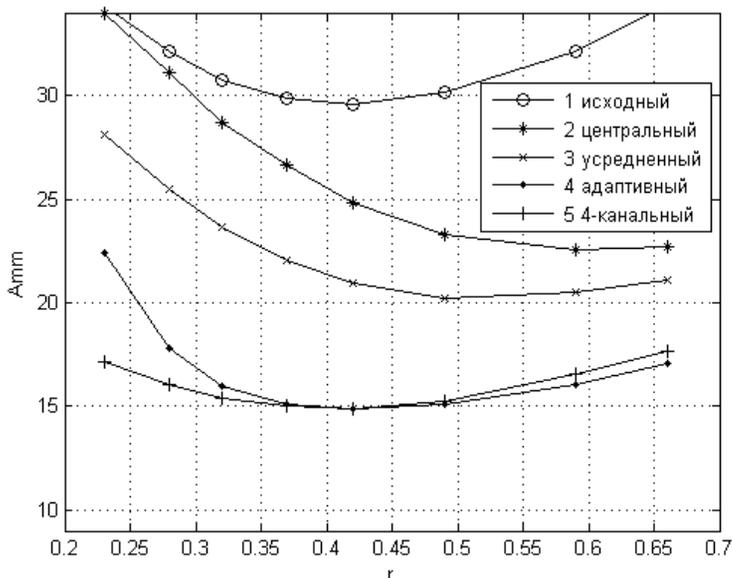


Рис. 2.64. Минимальная обнаруживаемая амплитуда для фотоприемника с 10-процентными межэлементными промежутками (A_{min} — амплитуда, выраженная в единицах СКО шума, r — радиус ФРТ, заданный в единицах размера ФЧЭ)

Наиболее эффективны последние два алгоритма, разработанные на предыдущем этапе проекта. При оптимальных соотношениях размеров ФРТ и ФЧЭ они обеспечивают обнаружение объектов с амплитудой в 1.3 раз меньшей, чем байесовский фильтр, и в 1.5 раз меньшей, чем классический согласованный фильтр.

Исследована зависимость степени подавления пространственно-нестационарного фона от соотношения размеров ФЧЭ, ФРТ и шага дискретизации при различных способах межкадровой обработки (МКО) последовательности изображений, регистрируемых матричным приемником. Полученные на предыдущем этапе аналитические оценки показали, что предельно достижимое значение СКО остаточного фона определяется величиной СКО случайного шума, сопровождающего регистрацию данных. Из результатов проведенного на текущем этапе численного моделирования следует, что для достижения этого значения необходимо, чтобы шаг дискретизации составлял не более половины от размера ФЧЭ. На рис. 2.65 показано, как зависит уровень остаточного фона (по вертикали, в единицах СКО шума) от шага дискретизации (по горизонтали, в единицах размера ФЧЭ) для двух различных способов подавления при условии, что размеры ФРТ и ФЧЭ согласованы в соответствии с отмеченным выше оптимальным соотношением. Исходный уровень фона превышает уровень случайного шума в 10 раз.

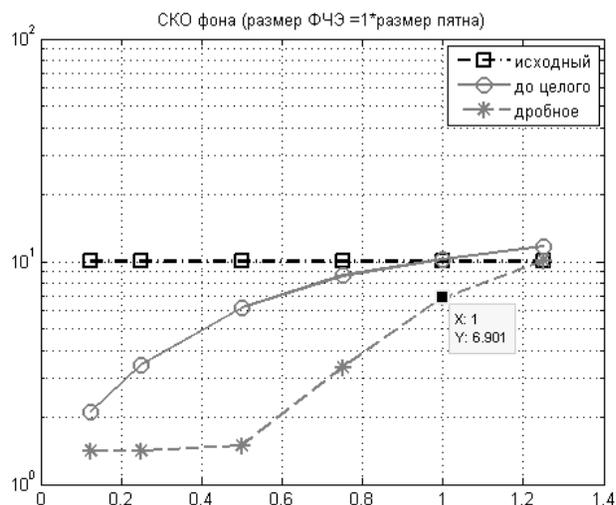


Рис. 2.65. Зависимость уровня остаточного фона от шага дискретизации при межкадровой обработке (o – целочисленная, * – дробная компенсация фона)

Поскольку матричный приемник не обеспечивает дискретизацию изображения с таким шагом, необходимо применение дополнительных мер, например микросканирования. Наиболее приемлемым с точки зрения надежности и простоты реализации представляется круговое сканирование. Разработан быстрый алгоритм синтеза изображений с повышенной частотой дискретизации при круговом сканировании.

Результаты проведенных исследований представлены в работах [1–6].

(Лаборатория цифровых методов обработки изображений)

Публикации:

1. Иванов В.А., Киричук В.С., Косых В.П., Синельщиков В.В. Особенности обнаружения точечных объектов в изображениях, формируемых матричным приемником // Автометрия, 2016 (принята в печать).
2. Киричук В.С., Шакинов А.К. Алгоритм восстановления изображений в задаче обнаружения объектов при круговом микросканировании // Автометрия, 2016 (принята в печать).
3. Куликов В.А. Алгоритм трассировки пересекающихся объектов по последовательности дальностных изображений // Автометрия, 2016 (принята в печать).
4. Иванов В.А., Киричук В.С., Косых В.П., Синельщиков В.В. Особенности выделения малоразмерных динамических объектов в последовательностях дискретных изображений с пространственно-нестационарным фоном // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов [Электронный ресурс]: Труды всероссийской конференции (с. Усть-Сема, Республика Алтай, Россия, 24–28 августа 2015), 259 с., 100 экз. С. 84–89.
5. Kulikov V.A. Application of a depth image analysis algorithm to automatic social behaviour estimation of laboratory animals // Sibercon/SibMed Info 2015. P. 191–192.
6. Киричук В.С., Шакинов А.К. Программа моделирования изображений, регистрируемых матричным фотоприемником в режиме микросканирования // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619704 зарег. 10.09.2015.

Исследование надежности многопорогового считывания случайных дискретных изображений с помощью средств компьютерной аналитики. Разработка алгоритмов расчета многомерных интегральных выражений методом параметрического дифференцирования (ответственный исполнитель д.т.н. Резник А.Л.).

Разработаны и программно реализованы высокоскоростные алгоритмы расчета объемов многомерных областей, задаваемых системой ориентированных гиперплоскостей в n -мерном пространстве, основанные на дифференцировании многомерных интегральных выражений по параметру. Созданный программно-алгоритмический комплекс использован для расчета новых ранее неизвестных аналитических соотношений, характеризующих надежность регистрации случайных точечных полей.

Целью проекта в 2015 г. являлась разработка методов, алгоритмов и программ, позволяющих рассчитать аналитические соотношения, которыми описывается надежность считывания случайных дискретных структур, когда такое считывание осуществляется многоуровневыми интеграторами. Потребность в создании подобных систем возникает при решении широкого круга задач, связанных с регистрацией координат точечных объектов, формирующих случайное поле.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Разработаны специализированные алгоритмы, и на их основе созданы программные системы, ориентированные на проведение трудоемких аналитических преобразований, возникающих при обработке и анализе случайных дискретно-точечных изображений. Реализованная в 2015 году программная система для аналитических вычислений базируется на дифференцировании по параметру многократных интегралов, описывающих вероятность безошибочного многопорогового считывания.

2. С помощью созданных программных средств и с использованием ранее введенного понятия обобщенных трехмерных чисел Каталана рассчитан новый расширенный набор частных решений задачи регистрации случайных изображений, когда считывание координат точечных объектов осуществляется интегрирующей апертурой, имеющей ограниченное число пороговых уровней.

3. Получены новые замкнутые аналитические соотношения, характеризующие вероятность безошибочного считывания случайных точечных изображений.

Компьютерно-аналитические методы нахождения формул, описывающих надежность многопорогового считывания. Ранее в рамках настоящего проекта был получен общий вид многомерных интегральных выражений, к нахождению которых сводится расчет соотношений $P_{n,k}(\varepsilon)$, характеризующих вероятность безошибочного считывания случайного n -точечного изображения, проводимого многоуровневыми интеграторами с k пороговыми уровнями.

Нахождение общего аналитического решения $P_{n,k}(\varepsilon)$, как и многих других задач со случайным разбиением интервала, на сегодняшний день не найдено. В замкнутом виде известно лишь решение для простейшего случая $k = 1$:

$$P_{n,1}(\varepsilon) = (1 - (n-1)\varepsilon)^n, \quad (0 \leq \varepsilon \leq 1/(n-1)). \quad (2.24)$$

К сожалению, уже при $k = 2$ для вероятности $P_{n,k}(\varepsilon)$ не существует такого же компактного обобщения, как приведенная формула (2.24), поскольку выражение $P_{n,k}(\varepsilon)$ перестает описываться единственным полиномом от ε степени n , а является набором полиномов, непрерывно «состыкованных» в нескольких узловых точках.

Для нахождения точных вероятностных формул $P_{n,k}(\varepsilon)$ при фиксированных значениях целочисленных параметров n и k нами предложено несколько алгоритмических схем. Одна из них основана на представлении исходных вероятностей $P_{n,k}(\varepsilon)$ в виде многократных интегралов по областям, которые описываются выпуклыми многогранниками в n -мерном пространстве с параметрически заданными границами. В основу другой схемы положен комбинаторно-рекурсивный алгоритм, когда на первом этапе сначала рассчитываются дискретные прототипы, а затем в результате предельного перехода находятся точные аналитические формулы. Третья схема, распараллеленная версия которой реализована в рамках настоящего проекта, базируется на дифференцировании по параметру ε многократных интегралов, описывающих вероятность $P_{n,k}(\varepsilon)$, с последующим восстановлением полиномов по значениям всех его производных.

Анализ «компьютерных» формул позволил найти ряд общих ранее неизвестных аналитических соотношений и зависимостей. В частности, при четных $n = 2m$ для $k = 2$ была сначала установлена, а впоследствии и строго доказана формула

$$P_{2m,2}(\varepsilon) = \frac{1}{m+1} C_{2m}^m (1 - (m-1)\varepsilon)^{2m}, \quad (2.25)$$

которая верна, если $1/m < \varepsilon < 1/(m-1)$. Коэффициенты $(1/(m+1))C_{2m}^m$ в (2.25) являются классическими числами Каталана, известными еще по работам Леонарда Эйлера, интерес к которым сохранился до настоящего времени, поскольку они лежат в основе перечислительной комбинаторики и возникают в большом числе приложений.

Ранее было доказано, что при нечетных $n = 2m+1$ и $k = 2$ на участке $1/(m+1) < \varepsilon < 1/m$ вероятность $P_{n,k}(\varepsilon)$ представляется в виде

$$\begin{aligned}
P_{2m+1,2}(\varepsilon) &= C_{2m+1}^{m+1} (1-m\varepsilon)^{m+1} (1-(m-1)\varepsilon)^m - \\
&- 2C_{2m+1}^{m+2} (1-m\varepsilon)^{m+2} (1-(m-1)\varepsilon)^{m-1} + \\
&+ C_{2m+1}^{m+3} (1-m\varepsilon)^{m+3} (1-(m-1)\varepsilon)^{m-2}.
\end{aligned}
\tag{2.26}$$

В 2015 г. найдена и доказана ранее неизвестная аналитическая зависимость, которой описывается вероятность безошибочного считывания случайного изображения, когда количество пороговых уровней считывающей апертуры $k = 2$, количество считываемых случайных точечных объектов четно: $n = 2m$, а линейный размер апертуры находится в диапазоне $1/(m+1) < \varepsilon < 1/m$:

$$\begin{aligned}
P_{2m,2}(\varepsilon) &= C_{2m}^m (1-(m-1)\varepsilon)^{2m} - C_{2m}^{m-1} (1-(m-1)\varepsilon)^{2m} - \\
&- C_{2m}^{m-2} (1-m\varepsilon)^{m+2} (1-(m-2)\varepsilon)^{m-2} + \\
&+ 2C_{2m}^{m-3} (1-m\varepsilon)^{m+3} (1-(m-2)\varepsilon)^{m-3} - C_{2m}^{m-4} (1-m\varepsilon)^{m+4} (1-(m-2)\varepsilon)^{m-4}.
\end{aligned}
\tag{2.27}$$

Следует отметить, что при нахождении и доказательстве каждого из соотношений (2.25–2.27) требуется знание общего числа специальных перестановок элементов нескольких подмножеств, каждое из которых представляет собой ранжированную последовательность равномерно распределенных случайных величин. Возникающие при этом задачи приводят к интересным расширениям классической последовательности Каталана. Ряд таких задач, имеющих вполне самостоятельное научное значение, был решен в рамках настоящего проекта.

Кроме описанных выше методов интеллектуальной компьютерной поддержки вычислений, направленных на расчет точных аналитических формул $P_{n,k}(\varepsilon)$, разработаны и полностью формализованы алгоритмы, позволяющие последовательно вычислять формулы $P_{n,n-i}(\varepsilon)$, $i=1,2,\dots$ и т. д. К настоящему времени по ним «вручную» рассчитаны точные аналитические формулы $P_{n,n-1}(\varepsilon)$, $P_{n,n-2}(\varepsilon)$, $P_{n,n-3}(\varepsilon)$. Реализация алгоритма в виде компьютерной программы, осуществляющей аналитические преобразования на ЭВМ, в данном случае возможна, но весьма трудоемка, поскольку результирующие формулы зависят уже не от одного, а от двух свободных параметров.

Выводы. В 2015 г. в рамках проекта разработаны и программно реализованы алгоритмы нахождения интегральных выражений, которыми описывается надежность регистрации случайных точечных изображений. Предложенные методы основаны на параметрическом дифференцировании n -мерных интегралов специального вида. Использование программно-аналитических расчетов и обобщенных чисел Каталана позволило установить [1–4] новые ранее неизвестные формулы, описывающие вероятность безошибочного считывания случайных точечных изображений, когда такое считывание ведется с помощью апертуры, имеющей ограниченное число пороговых уровней.

(Лаборатория вероятностных методов исследования информационных процессов)

Публикации:

1. Efimov V.M., Reznik A.L., and Bondarenko Ju.V. Filtration of a periodic signal when its period is not divisible by the signal sampling interval // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications, 2015, v. 25, № 2. P. 161–166.
2. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «ВОБУЛА15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614931, зарег. 29.04.2015.
3. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «МОД-М15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614932, зарег. 10.09.2015.
4. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «М-ИМПРУВ15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015615060, зарег. 07.05.2015.
5. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «Т-МАТР15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619702, дата гос. рег. 10.09.2015.
6. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «М-ФЛТР15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619703, дата гос. рег. 10.09.2015.
7. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «М-СДВИГ15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619706, дата гос. рег. 10.09.2015.

Оптимизация алгоритмов и параметров распределённой мультимедийной виртуальной среды. Разработка эффективных и эргономичных пользовательских интерфейсов для РМВС в предметной специфике. Исследование различных видов мультимедийной информации для распределённой мультимедийной виртуальной среды (ответственный исполнитель к.т.н. Долговесов Б.С.).

Разработан алгоритм для синхронного вывода видеоданных распределенных источников при отображении на больших экранах (полиэкранах), представленных набором экранных модулей. В отличие от исследованных существующих решений, предлагаемый алгоритм устойчив к неравномерности частоты поступления видеок кадров за счет буферизации кадров на входе и двойной/тройной – на выходе. Это позволяет избежать нежелательных артефактов (эффект «замирания», потеря кадров, разрывы изображения и др.), особенно характерных для распределенного отображения динамических сцен на полиэкранах. Алгоритм не накладывает ограничений на число компьютеров в кластере, поскольку вычислительные затраты на синхронизацию на одном компьютере составляют незначительную часть (менее 1 %) от общего объема вычислений и не увеличиваются с ростом числа компьютеров. Алгоритм может использоваться для организации систем отображения информации на больших экранах, являющихся средствами коллективного просмотра изображений в информационных центрах подготовки и принятия решений, в научных центрах для визуализации данных высокого разрешения и др.

Для удаленного управления отображением распределенных видеоданных предложен эффективный метод организации эргономичного

пользовательского интерфейса. Для отображения миниатюр (превью-раскладок) интерфейса, соответствующих входным источникам данных, формируется ограниченный поток данных для передачи по сети, не зависящий от количества источников. Метод обеспечивает в реальном времени мониторинг входных источников и оперативный вывод требуемых видеоданных для отображения на полиэкранных средствах. Для реализации метода разработан алгоритм, формирующий графические диалоговые окна в соответствии с параметрами, определяющие размер и позицию видеоминиатюры на экране интерфейса. Интерфейс поддерживает широкий набор функций (микширование, коммутация и вывод мультимедийных данных различных источников, динамическое изменение размеров и расположения диалоговых окон, плавное изменение масштаба изображения и т. д.).

Разработаны методы визуализации мультимедийных данных, представляющих функционально заданные компьютерные модели. В частности, разработан метод визуализации ландшафта местности на основе скалярных функций возмущения. Адаптированный к возможностям стандартного графического ускорителя метод позволяет отображать в режиме реального времени большие районы местности высокого качества. Разработан метод интерактивного создания поверхностей трехмерных моделей на основе аналитических функций возмущения. В отличие от известных методов в предлагаемом подходе обеспечивается повышенная геометрическая точность и не требуется для интерактивного режима предварительной аппроксимации поверхности объекта.

На базе полученных результатов разработана система обработки и отображения визуальной информации (СООВИ) комплекса тренажеров Российского сегмента Международной космической станции для ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (рис. 2.66–2.67). Созданная в рамках темы «Гранит-15», система успешно прошла испытания в ЦПК имени Ю.А. Гагарина.

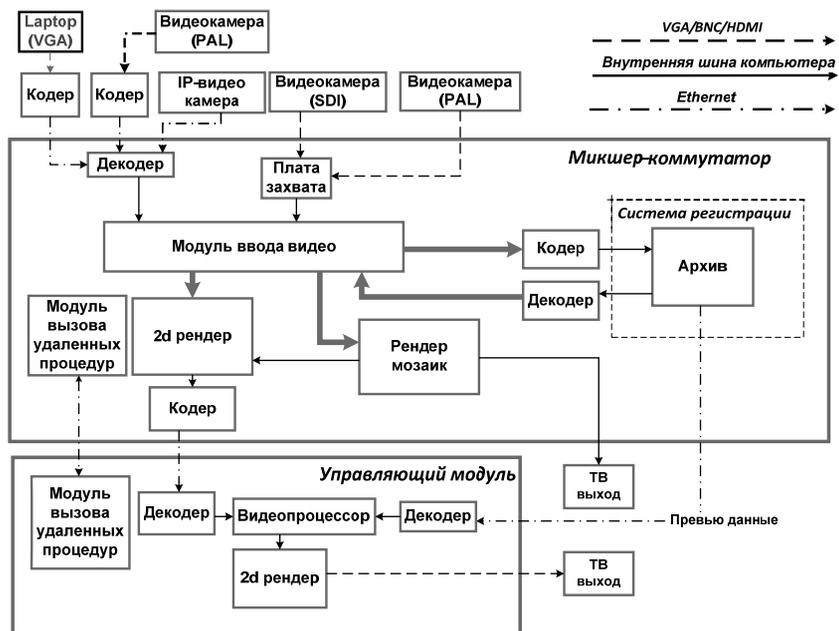


Рис. 2.66. Структурная схема СООВИ



Рис. 2.67. Пользовательский интерфейс СООВИ.

(Лаборатория синтезирующих систем визуализации)

Публикации:

1. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Храпцов И.Д., Радостев А.Х. Особенности построения систем для полиэкранного отображения распределенных мультимедийных данных // Вестник НГУ. Серия: Физика, 2015, т. 10, вып. 2. С. 91–98.
2. Вяткин С.И. Метод интерактивного моделирования функционально заданных объектов без предварительной триангуляции поверхности // Автотметрия, 2015, т. 51, № 6. С. 70–78.

3. Вяткин С.И. Визуализация фотореалистичного рельефа местности на основе текстуры-формы с использованием графических ускорителей // Программные системы и вычислительные методы, 2015, № 1. С. 89–107.
4. Vyatkin S.I. Polygonization method for functionally defined objects // International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems, 2015, v. 1, № 1. P. 1–8.
5. Vyatkin S.I. Three-dimensional modeling of the Volcano Bandai using shape texture // International Journal of Natural Sciences Research, 2015, v. 3, № 2. P. 21–29.
6. Вяткин С.И., Романюк С.А., Павлов С.В., Дудник А.А. Function-based GPU architecture // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Міжнародний науково-технічний журнал. Хмельницький національний університет, Хмельницький, ХНУ: 2015, № 1. С. 138–143.
7. Vyatkin S., Romaniuk S., Romaniuk O. Visualization of 3D-amorphous objects using free forms // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Научно-технічний журнал. МОН України, 2015, № 19 (95). С. 227–230.
8. Вяткин С.И., Романюк С.А., Савицкая Л.А., Стрельчук Т.А. Метод анизотропной фильтрации текстуры с использованием графических ускорителей // Вестник Херсонского национального технического университета, Херсон, ХНТУ, 2015, вып. 3 (54). С. 340–343.
9. Вяткин С.И. Преобразования функционально заданных форм // Программные системы и вычислительные методы, 2014, № 4. С. 484–499.
10. Vyatkin S.I. An Interactive System for Modeling, Animating and Rendering of Functionally Defined Objects // American Journal of Computer Science and Engineering Survey, 2014, v. 2, iss. 3. P. 102–108.
11. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Радостев А.Х. Разработка супервизорной системы удаленного управления коммутацией медиапоток // XXV Международная научная конференция «GraphiCon2015» (г. Протвино, Парк Дракино, Московская обл., Россия, 22–25 сентября 2015). С. 241–243.
12. Долговесов Б.С., Городилов М.А., Фатьянов Ф.В. Система обработки и отображения визуальной информации для тренажерных комплексов // Там же. С. 244–246.
13. Долговесов Б.С., Городилов А.М., Храпцов И.Д. Синхронизация распределенного воспроизведения мультимедийных данных на полиэкранах // Там же. С. 237–240.
14. Долговесов Б.С. Опыт создания мультимедийных систем реального времени для обучения и презентаций // Там же. С. 265–268.
15. Vyatkin S.I., Romanyuk S.A. Separation of the complex task of planning streaming multiprocessors into several simpler warp schedulers // Материалы международной конференции «IEEE Sibcon 2015» (г. Омск, Россия, 21–23 мая 2015). <http://conf.sfu-kras.ru/sibcon/participants/1226>
16. Долговесов Б.С., Городилов М.А., Фатьянов Ф.В., Брагин В.И. Система обработки и отображения в реальном времени распределенных мультимедийных данных для задач тренажерных комплексов РС МКС // XI Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», Звездный городок, Московская обл., Россия, 10–12 ноября 2015), 2015. С. 247–248.
17. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Тарасовский А.Н., Храпцов И.Д. Пользовательский интерфейс многофункционального микшера-коммутатора и базовая часть его серверного ядра // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614825, зарег. 28.04.2015.
18. Долговесов Б.С., Городилов М.А., Храпцов И.Д. Модуль синхронизации для полиэкранных систем отображения // Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619699, зарег. 10.09.2015.
19. Долговесов Б.С., Городилов М.А., Радостев А.Х. Супервизорный модуль управления видеопотоками для отображения распределенных мультимедийных данных // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619821, зарег. 15.09.2015.

Исследование методов построения и разработка технологической концепции виртуальной деятельности коммуникационной среды, базирующейся на облачной архитектуре (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Лаврентьев М.М.).

Разработана технологическая концепция образовательной платформы для смешанного обучения географически удаленных пользователей. Дистанционное очное обучение реализуется посредством переноса образовательного процесса в разделяемую трехмерную виртуальную среду, в которой участники способны взаимодействовать друг с другом и моделями учебных объектов. Предложенный подход позволил на порядок снизить требования к пропускной способности Интернет-каналов, повысив равнодоступность обучения.

В настоящее время широкое распространение и признание в образовании получили технологии Blending Learning. Blended Learning или смешанное обучение – это образовательная концепция, в рамках которой обучаемый получает знания и самостоятельно (онлайн), и очно – с преподавателем. Смешанное обучение позволяет совмещать традиционные методики очного обучения и инновационные Интернет-технологии передачи знаний. Современные системы дистанционного обучения обладают мощными средствами организации наглядного представления и Интернет-доставки учебных материалов, но не обладают адекватными инструментами для взаимодействия обучаемых с преподавателем и между собой. Таким образом, применение смешанного обучения в полностью дистанционном режиме невозможно. Для решения этой задачи предложена концепция дистанционной очности, базирующейся на переносе процесса очного обучения в разделяемую трехмерную виртуальную среду. В этой среде преподаватель и обучаемые представлены собственными трехмерными аватарами, способными взаимодействовать друг с другом и самим с виртуальным пространством (перемещаться, разговаривать, жестикулировать, работать с виртуальной классной доской, взаимодействовать с виртуальными моделями объектов и процессов, с абстрактными знаковыми моделями). В отличие от таких широко применяемых инструментов взаимодействия, как вебинары и веб-конференции, в предлагаемом подходе взаимодействие между пользователями достигается за счет эффекта погружения участников в виртуальную среду, применения голосового, эмоционального и жестового общения, опосредованного через управление пользовательскими аватарами. Объемы обмениваемой через Интернет информации, а следовательно, и требования к пропускной способности Интернет-каналов у конечных пользователей в этом случае снижаются на порядок, что создает предпосылки для общедоступности качественного смешанного обучения.

Предлагаемая технологическая платформа смешанного обучения основана на облачной архитектуре (рис. 2.68). Хранение данных и большинство вычислений, связанных с функционированием виртуальной среды, осуществляются на специальных серверах виртуальной среды. Отоб-

ражение традиционного образовательного контента на компьютерах конечных пользователей осуществляется с помощью стандартного Интернет-браузера, а для отображения виртуальной среды применяется «тонкий» клиент, что в свою очередь позволяет существенно снизить требования к компьютерам конечных пользователей.

Развитие технологий массового открытого онлайн обучения (МООС технологий) диктует необходимость поддержки одновременного участия в обучении большого числа пользователей (от тысяч до десятков тысяч пользователей). Для реализации данного условия разработана концепция распределенной виртуальной среды, в которой данные о среде и основные вычислительные операции могут распределяться на практически неограниченном количестве серверных станций. При этом пользователи разделяются на изолированные группы обучаемых, одновременно присутствующих в виртуальных аудиториях (рис. 2.69) и взаимодействующих между собой (аналогично академическим группам в вузе, студенты которых совместно участвуют в семинарах). Поэтому требования к пропускной способности Интернет-каналов конечных пользователей по мере их общего роста не возрастает.

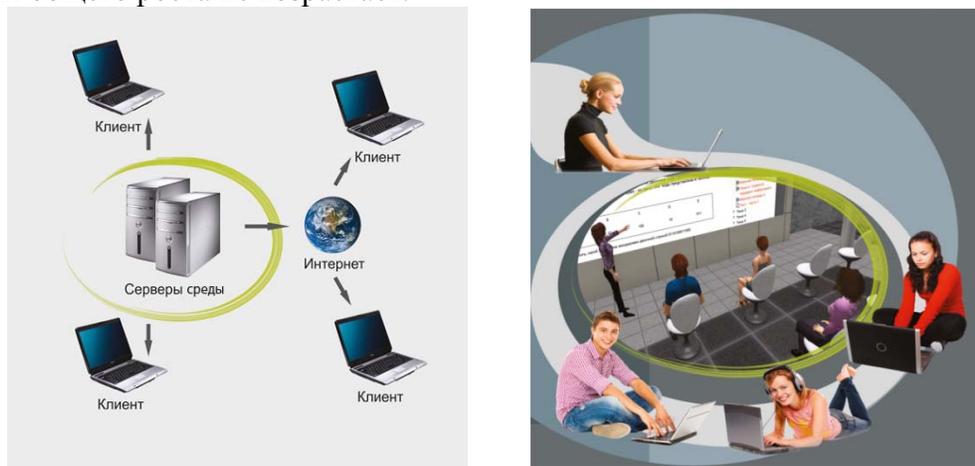


Рис. 2.68. Архитектура платформы



Рис. 2.69. Виртуальные аудитории с непересекающимися группами обучаемых

Виртуальное очное обучение является важной, но не единственной необходимой компонентой смешанного обучения. Для успешного сочетания

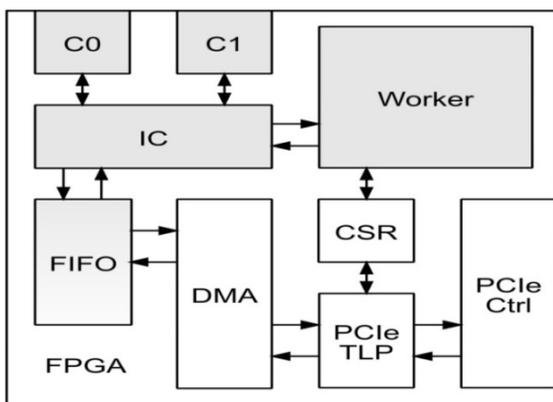


ния виртуального очного и заочного дистанционного обучения разработаны методы интеграции виртуальной среды с популярными системами управления обучением (например, со свободно распространяемыми системами Moodle или Open eDX) в единую платформу смешанного обучения. Предложен метод интеграции технологической платформы смешанного обучения с автоматизированными системами управления учебными заведениями

ми, схема которого показана на рис. 2.70. Регистрация пользователей и предоставление доступа к образовательному контенту при данной схеме интеграции регламентируется не в рамках платформы, а на уровне автоматизированной системы управления вузом. Такой подход устраняет дублирование информации и рутинных операций по ее ручному вводу, повышает общую эффективность и надежность функционирования всей ИТ-инфраструктуры учебного заведения.

Рис. 2.70. Интеграция платформы смешанного обучения с АСУ вуза

Разработка программно-аппаратного комплекса на базе FPGA для алгоритмов обработки сейсмологических данных в режиме реального времени (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Лаврентьев М.М.).



Разработаны архитектуры вычислительных конвейеров на базе программируемой логики FPGA (Field-Programmable Gate Array) для решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) большой размерности при обработке сейсмологических данных в режиме реального времени. Архитектурные решения применимы

как для создания спецпроцессоров в составе ПК, так и для портативных вычислительных устройств, работающих в полевых условиях.

При обработке сейсмических данных одним из самых трудоемких этапов является решение систем линейных алгебраических уравнений большой размерности. На данный момент для решения систем линейных уравнений используются различные методы распараллеливания вычислений на основе вычислительных кластеров или на графических процессорах (GPGPU – General-Purpose Graphics Processing Units). Современная программируемая логика FPGA может обеспечить исполнение до сотен тысяч параллельных потоков данных на специализированных вычислителях конвейерной архитектуры. Кроме того, устройства на FPGA обеспечивают эффективную работу над числами с плавающей запятой. Для решения систем линейных алгебраических уравнений при обработке сейсмических данных в режиме реального времени разработана универсальная архитектура спецпроцессора на основе FPGA, представленная на рис. 2.71.

Рис. 2.71. Архитектура спецпроцессора

Архитектура спецпроцессора реализована и протестирована на отладочных платах SLEDv7 и Xilinx VC709 на базе FPGA. Тестирование показало, что при чтении из памяти большими блоками спецпроцессор обеспечивает 88 % загрузку каналов памяти – реальная пропускная способность, доступная вычислителям, что составляет 10.7 Гбайт/с на канал. Созданы модули, реализующие матричные и векторные операции: скалярное произведение векторов, умножение матрицы на вектор, LU-

разложение блока матрицы, перемножение блоков матрицы. С помощью данных модулей возможна реализация различных алгоритмов, использующих матричные операции, в том числе алгоритмов решения СЛАУ. Ключевой особенностью разработанных модулей является выполнение операций над числами с плавающей запятой двойной точности (64 бита) стандарта IEEE-754. Масштабируемость модулей позволяет адаптировать их к различным аппаратным решениям, не изменяя архитектуру. Созданы вычислители, реализующие методы решения СЛАУ: метод Якоби, блочное LU-разложение, стабилизированный метод бисопряжённых градиентов (BiCGSTAB). Производительность реализаций итерационных методов (метода Якоби и BiCGSTAB) зависит от пропускной способности памяти спецпроцессора. Производительность реализации LU-разложения зависит от выбранного размера блока, что в свою очередь зависит от объема использованного FPGA.

(Лаборатория программных систем машинной графики)

Публикации:

1. Бартош В.С., Дьяков М.С., Кузиковский С.А., Брагин В.И. Развитие систем моделирования бортовых средств визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности российского сегмента МКС для подготовки космонавтов к выполнению геофизических исследований // Пилотируемые полеты в космос, Издательство ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (Звездный городок, Московская область), 2015, № 2(15). С. 43–48.
2. Барамия Д.А., Дьяков М.С., Лаврентьев М.М. Разработка системы одновременной локализации и построения карты на основе данных с лидара и видеокамер // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, 2015, т. 13, вып. 1. С. 5–15.
3. Гончаренко А.И., Таранцев И.Г., Лысаков К.Ф. Слепой алгоритм внедрения цифровых водяных знаков для видео // Автометрия (в печати).
4. Бартош В.С., Белого И.В., Дьяков М.С., Кузиковский С.А., Переверзев А.С. Особенности тренажерного моделирования визуально-инструментальных наблюдений Земли с борта МКС // Автометрия (в печати).
5. Baramiya D.A., Diakov M.S., Kuzikovskiy S.A., Lavrentyev M.M. Slam system with loop closure, initial position prediction and localization by visual markers // Pattern Recognition and Image Analysis (в печати).
6. Бартош В.С., Белого И.В., Власов Е.В., Кравченко Ю.Л., Огородников Д.В. Способ формирования многопланового изображения и мультифокальный стереоскопический дисплей // Заявка на изобретение № 2015147672, приоритет 05.11.2015.
7. Lavrentiev M.M., Spigler R., Goryunov E., Romanenko A.A. Diffusion model identification for long-term coastal profile evolution // International Offshore and Polar Engineering Conference (January 2015). P. 1271–1278.
8. Lavrentyev M., Romanenko A., Goryunov E., Lysakov K. Modern simulation tools for real time numerical simulation of ocean-related processes // MTS/IEEE Oceans-2015 (Washington DC, USA, October 19–22, 2015) (4 p.).
9. Лаврентьев М.М., Бартош В.С., Белого И.В., Васючкова Т.С., Городняя Л.В., Держо М.А., Иванов Е.Ю., Иванчева Н.А., Романенко А.А., Федотова О.А. Единая электронная образовательная среда Новосибирского государственного университета // Международная научная конференция «Педагогика и психология – 2015», 2 сессия (Москва, Россия, 26–27 июня 2015). С. 63–69.
10. Лаврентьев М.М., Бартош В.С., Белого И.В., Васючкова Т.С., Городняя Л.В., Держо М.А., Иванчева Н.А., Федотова О.А. Формирование инновационной образова-

тельной платформы в Новосибирском государственном университете (НГУ) // Технологии информационного общества в науке, образовании и культуре: сборник научных статей. Труды XVII Всероссийской объединенной конференции «Интернет и современное общество» (IMS-2014) (Санкт-Петербург, Россия, 19–20 ноября 2014). СПб.: университет ИТМО, 2014. С. 338–342.

11. Lavrentiev M.M., Romanenko, A.A., Lysakov K.F. Tsunami Simulation at Modern Hardware Architectures // Тезисы докладов. VII Международная конференция, посв. 115-летию академика М.А. Лаврентьева «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике» (г. Новосибирск, Россия, 7–11 сентября 2015). С. 69–70.
12. Лаврентьев М.М., Бартош В.С., Белого И.В., Васючкова Т.С., Городняя Л.В., Держо М.А., Иванов Е.Ю., Иванчева Н.А., Романенко А.А., Федотова О.А. Развитие технологий смешанного обучения в Новосибирском государственном университете // XVIII Всероссийская объединенная конференция «Интернет и современное общество» (IMS-2015) (Санкт-Петербург, Россия, 22–25 июня 2015). Сборник тезисов докладов. СПб: Университет ИТМО, 2015. С. 72–74.

Разработка архитектуры масштабируемой высокопроизводительной одноранговой системы управления на базе единой программной среды и унифицированной процессорной платформы с интеграцией различных микропроцессоров, включая DSP-процессоры (ответственный исполнитель к.т.н. Сердюков О.В.).

Реализован опытный образец встраиваемого управляющего компьютера в промышленном исполнении в виде платы-носителя процессорного модуля, конструктивно обеспечивающего интеграцию устройств по современным интерфейсам PCIe и QSeven. В качестве процессорных модулей, устанавливаемых на плате-носителе по интерфейсу Qseven, могут использоваться любые процессоры: X86, ARM, PPC и др.

Разработана и доведена до стадии коммерциализации многофункциональная вычислительная платформа с возможностью конфигурирования всех составляющих элементов: процессора, памяти и периферии.

Материнская плата выполнена в формате EBX, как модуль-носитель процессорных мезонинов стандарта Qseven с широкими возможностями интеграции устройств расширения посредством интерфейсов miniPCIe, PCIe, SATA и mSATA.

Большой выбор доступных модулей Qseven на базе процессорных архитектур x86, ARM, PowerPC, DSP и др. позволяет собрать вычислительное устройство с требуемыми аппаратными ресурсами и операционной системой.

Модели устройства могут поддерживать до 5 портов Gigabit Ethernet, обеспечивающих аппаратную поддержку протоколов точной синхронизации времени IEEE 1588 и стандарта ЭМС IEC 61850-3, что позволяет использовать вычислительное устройство на самых ответственных объектах.

Заложенный в основу принцип «конструктора» позволит в перспективе получить универсальный комплекс на базе промышленного компьютера, отвечающий конкретным целям как для бизнеса и промышленности, так и для решения широкого спектра любых других задач, требующих высокой надежности и производительности.

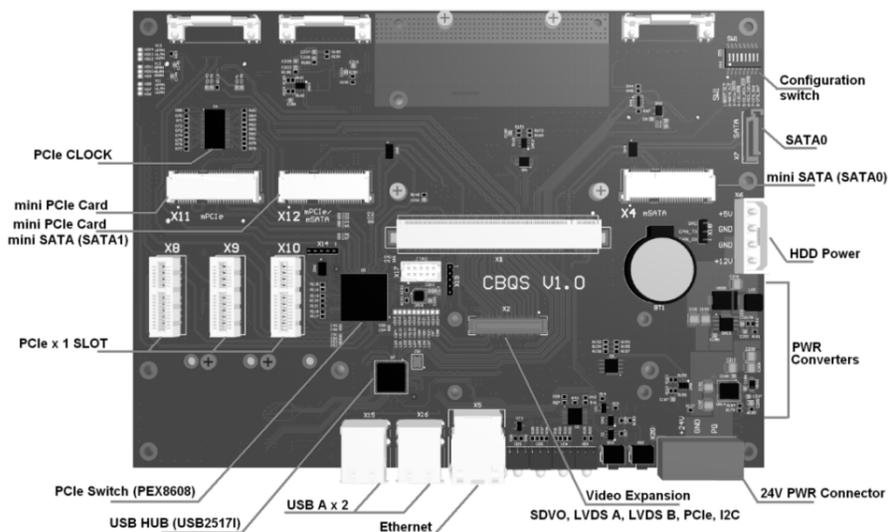


Рис. 2.72. Архитектура универсальной вычислительной платформы

(Тематическая группа магистрально-модульных систем)

Публикации:

1. Gorbunov A.I., Serdyukov O.V. Choosing actuators for automatic control systems of thermal power plants // Power Technology and Engineering, March 2015, v. 48, № 6. P. 464–466.

3. РФФИ, РФ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ

В 2015 году сотрудники Института выполнили 21 проект по грантам РФФИ (табл. 3.1):

Таблица 3.1.

№ п/п	№ проекта	Руководитель/ Ответственный исполнитель
1.	13-01-00361-а	Резник А.Л.
2.	13-02-00805-а	Бабин С.А.
3.	13-03-00237-а	Суровцев Н.В.
4.	13-07-00081-а	Кириянов А.В.
5.	14-02-00449-а	Каблуков С.И.
6.	14-04-31451-мол-а	Окотруб К.А.
7.	14-02-00189-а	Малиновский В.К.
8.	14-02-00732-а	Твердохлеб П.Е.
9.	14-00-10268-ир	Шалагин А.М./Вьюхина Н.В.
10.	14-29-07227-м	Полещук А.Г.
11.	14-29-08134 офи-м	Плеханов А.И.
12.	14-42-08027-р_офи_м	Терентьев В.С.
13.	14-42-08026-р_офи_м	Лобач И.А.
14.	14-42-08023-р_офи_м	Бабин С.А.
15.	15-52-45068/15 ИНД_а	Бабин С.А.
16.	15-03-03833	Плеханов А.И.
17.	15-02-02333	Атутов С.Н.
18.	15-02-04950	Пугачев А.М.
19.	15-08-03233	Золотухин Ю.Н.
20.	15-02-05754-а	Чаповский П.Л.
21.	13-07-12202 офи-м	Борзов С.М.

По гранту РФФИ выполнялся проект 14-22-00118 «Генерация и нелинейное преобразование излучения в схеме волоконного ВКР-лазера с прямой диодной накачкой большой мощности», *руководитель чл.-корр. РАН Бабин С.А.* Институт является также соисполнителем проекта «Мощные широкодиапазонные терагерцовые источники и их применение в спектроскопии» в рамках гранта РФФИ № 15-19-10021, *руководитель д.ф.-м.н. профессор Лосев В.Ф. (ИСЭ СО РАН, г. Томск).*

В 2015 г. выполнялись работы в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ НШ-4447.2014.2 «Спектроскопия и фотоника наноструктур, волоконных световодов и газовых сред» (*руководитель академик РАН Шалагин А.М.*), а также грант Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-228.2014.2 («Исследование временных и статистических

свойств генерации волоконного лазера со случайной распределенной обратной связью», *руководитель к.ф.-м.н. Чуркин Д.В.*

Главный научный сотрудник Института *Гибин И.С.* и зав. лабораторией *Бессмельцев В.П.* получали стипендии Президента РФ для ученых-исполнителей оборонного заказа.

Стипендия Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики на 2015–2017 гг., получена *Ватником И.Д.* Аналогичную стипендию в 2015 году продолжал получать *Булушев Е.Д.* для проведения исследований по теме «Разработка программно-алгоритмических методов оптимизации параметров прецизионной лазерной микрообработки, основанных на оптических технологиях 3D-измерений и данных автоматически формируемой базы знаний по лазерной обработке материалов».

Аспиранты Института *Узилов С.Б.* и *Потатуркин А.О.* продолжали получать стипендии Правительства РФ для обучающихся по направлениям подготовки (специальностям), соответствующим приоритетным направлениям модернизации и технологического развития экономики РФ.

Грант SPIE для участия в конференциях "Student Chapter Leadership Workshop 2015" и "Optics + Photonics 2015" (США) получен *Вольфом А.А.*

Гранты Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере на 2015–2016 гг. по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») по Новосибирской области получены *Лобачем И.А.* за проект «Устройство опроса волоконных сенсорных систем на базе волоконного лазера с пассивным сканированием частоты» и *Чубаковым В.П.* за разработку аппаратного комплекса проведения биомедицинской диагностики методом цифровой ПЦР.

Именную стипендию Новосибирского Технологического Центра компании ЗАО «Бейкер Хьюз» по результатам летней сессии 2015 года получил магистрант НГУ *Бенимецкий Ф.А.* (руководитель *Плеханов А.И.*).

В рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки научных школ РФ сотрудниками Института выполнен проект «Исследование формирования пространственно-временных структур в нелинейных средах и системах», *научный руководитель д.ф.-м.н. Комаров К.П.*, грант № НШ-3753.2014.2 «Развитие теории нелинейных явлений». (школа академика *Захарова В.Е.*, чл.-корр. РАН *Кузнецова Е.А.*).

Сотрудники Института (*Белай О.В.*, *Фрумин Л.Л.*, *Шатице Е.Г.*, *Шатице Д.А.*, *Чуркин Д.В.*) принимали участие в исследованиях по направлению «Физическая платформа нелинейных фотонных технологий и систем», проводимых под руководством профессора *Турицына С.К.* (Университет Астон, Великобритания) в рамках гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учрежде-

ниях высшего профессионального образования, научных учреждениях государственных академий наук и государственных научных центрах РФ.

Победителем конкурса мэрии г. Новосибирска на предоставление субсидий молодым ученым и специалистам в сфере инновационной деятельности в 2015 году стал *Чубаков В.П.* с проектом «Разработка технологии проведения биомедицинской диагностики методом цифровой капельной ПЦР».

4. РАЗРАБОТКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ

4.1. Лазерная технологическая рабочая станция микрообработки на основе фемтосекундного лазера

В ИАиЭ СО РАН разработаны прецизионные технологии (рис. 4.1) и система для формирования трехмерного рельефа на поверхности и в объеме стеклянных, кристаллических, полимерных, металлических и композитных заготовок изделий оптики, оптомеханики, микромеханики методами прямой лазерной записи (рис. 4.2).

ЛАЗЕРНЫЕ ФЕМТОТЕХНОЛОГИИ

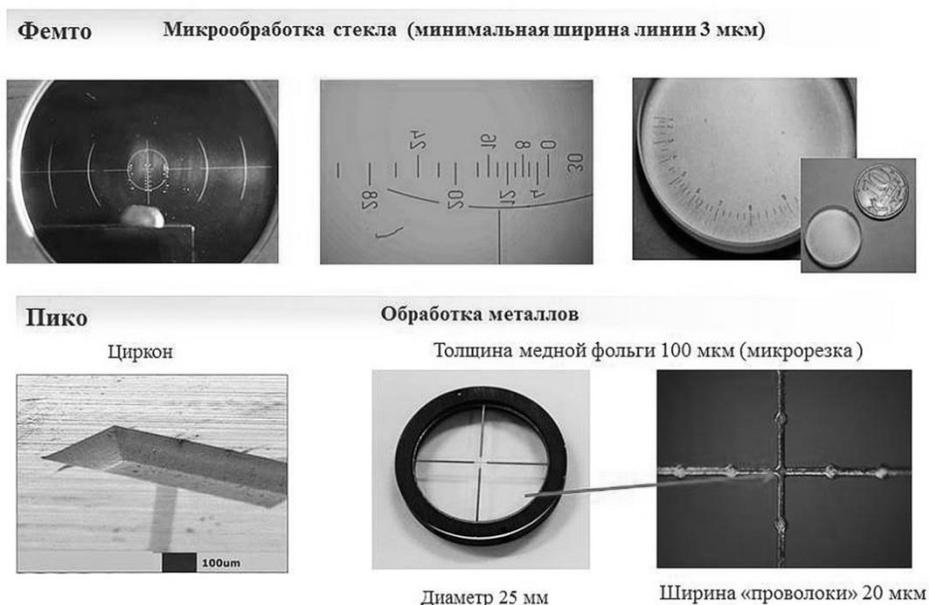


Рис. 4.1. Примеры применения лазерных фемтотехнологий

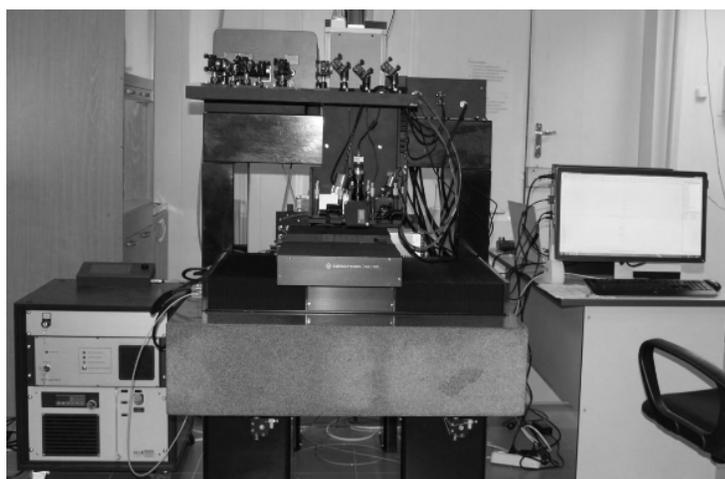


Рис. 4.2. Лазерная технологическая рабочая станция на основе фемтосекундного лазера

Состав системы:

- фемтосекундный лазер, длина волн 1030 ± 5 нм (возможно наличие нескольких каналов: 532; 355 нм), режим генерации – импульсный с частотой до 1 МГц, средняя мощность не менее 6–10 Вт;
- блок быстрого двухкоординатного сканирования лазерного излучения на основе угловых электромеханических сканеров;
- фокусирующий объектив плоского поля с размером рабочего поля 4–20 мм;
- механическая трехкоординатная система позиционирования обрабатываемых деталей и заготовок;
- модуль автоматической фокусировки;
- модуль вакуумной фиксации заготовок и деталей со специальной оснасткой для быстрой загрузки заготовок и узлом подачи воздуха/инертного газа в зону лазерной обработки;
- высокоразрешающий модуль технического зрения для оптического контроля процесса микрообработки;
- контроллер устройства и электронные блоки сопряжения комплекса с управляющей ПЭВМ;
- пакет программного обеспечения для управления работой устройства в режиме ручной или автоматической обработки изделий, контроля результатов обработки.

Технические характеристики системы

Способ сканирования	растровый, векторный
Максимальная скорость обработки, мм/с	до 1000
Максимальный размер зоны обработки, мм, не менее	200×200×100
Минимальная дискретность позиционирования, нм, не более	50
Воспроизводимость, нм, не более	150
Минимальная ширина гравированной линии, мкм, не менее	3

Технико-экономические преимущества:

Близкие по характеристикам системы иностранных производителей: J Series / Ultrafast Laser Micromachining System (Oxford Lasers, Inc, <http://www.oxfordlasers.com>, США); AltSCA (UAB ALTECHNA <http://www.altechna.com>, Вильнюс, Литва).

Преимущества предлагаемой системы:

- передовой уровень системы, сравнимый либо превосходящий иностранные по ряду характеристик;
- стоимость системы в 1.5–3 раза ниже, чем у сопоставимых по характеристикам аналогов;
- подготовка данных для обработки может вестись в стандартных (в том числе отечественных) САД-продуктах с учетом ГОСТ и ОСТ;

- программное обеспечение, объединяющее в себе средства импорта CAD-модели, подготовки к обработке и контроля ее результатов (автоматическое совмещение, поиск границ объектов, определение размеров и формы структурных элементов объекта и эффектов обработки);
- широкие возможности индивидуальной конфигурации системы под заказчика, оперативная поддержка;
- встроенные системы контроля качества обработки и сравнения с заданной CAD-моделью.

Система обеспечивает высокую точность и разрешение, возможность обработки хрупких материалов (стеклянных, кристаллических, полимерных, композитных и пр.) без микротрещин и сколов методами прямой лазерной записи.

Области применения: прецизионное формирование трехмерного рельефа на поверхности и в объеме стеклянных, кристаллических, полимерных, металлических и композитных заготовок изделий оптики, оптико-механики, микромеханики.

Уровень практической реализации: накоплен опыт мелкосерийного производства систем аналогичной сложности. Возможны поставки как единичных экземпляров, так и малых партий уникального производственного оборудования. Институт обеспечивает гарантийное обслуживание поставленного оборудования с типичным сроком 1 год. По дополнительному соглашению возможно расширение срока гарантии, а также послегарантийное обслуживание и модернизация.

Патентная защита:

- Патент на изобретение № 2146200 «Способ лазерной маркировки»;
- Патент на ПМ № 149457 «Устройство контроля положения плоскости изделия для систем автофокусировки»;
- Патент на ПМ № 150406 «Устройство для считывания линейных штриховых кодов».

Получено положительное решение по заявке № 2014134355/28 на патент РФ «Многоканальный конфокальный микроскоп (варианты)».

Подана заявка № 2015112796/28 «Способ изготовления многофункциональных прецизионных оптических прицельных сеток методом лазерной абляции с запуском».

Коммерческие предложения: договор на изготовление и поставку продукции.

Ориентировочная стоимость: от 30 до 70 млн. рублей в зависимости от требуемых точностных и функциональных возможностей.

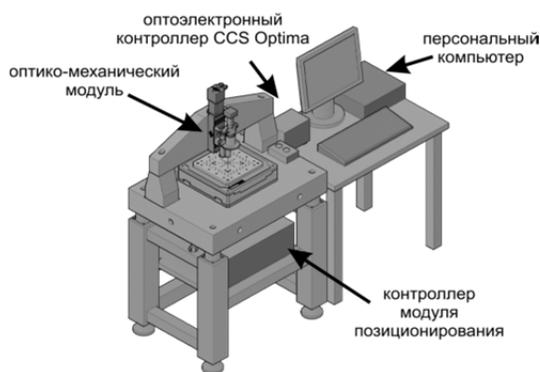
4.2. Сканирующий конфокальный профилометр – (система для измерений и контроля качества изделий микро- оптики, механики и электроники)

Система обеспечивает измерение рельефа поверхности изделий, полученных в процессе 3D формообразования, например: травления, лазерной микрообработки, напыления, литографии, эрозионной обработки, полировки.

Измерительная система включает высокоточную трёхкоординатную систему позиционирования, переключаемые 3D-сенсоры на основе принципа конфокальной хроматической микроскопии, контроллеры управления (рис. 4.3) и программное обеспечение “Profilometer”.



а



б

Рис. 4.3. *а* – внешний вид измерительной системы;
б – конструкция сканирующего профилометра

В зависимости от конфигурации технические характеристики могут варьироваться, ниже приведены характеристики системы, уже функционирующей на стороне Заказчика.

Программное обеспечение включает эффективные алгоритмы совмещения профилограмм поверхности с САД-моделью и определения размеров объектов: точность 0.1–1 мкм, время обработки данных на площади 10×10 мм² менее 1 минуты.

Основные технические характеристики:

- Область сканирования, мм² 200×200
- Максимальная толщина образца, мм 50
- Получение профиля объекта с погрешностями, мм со скоростью сканирования головками С1 и С2, мм\с: менее
- С1: разрешение XY – 4 мкм, Z – 75 нм, диапазон по Z – 4 мм) 100
- С2: разрешение XY – 0.9 мкм, Z – 5 нм, диапазон по Z – 130 мкм) до 100
- Получение изображений 10 Мп с разрешением 4 мкм
- Сшивка в изображение высокого разрешения (> 1 Гп) с погрешностями менее 10 мкм

Для получения профиля поверхности используется конфокальная схема и объектив с высокой хроматической aberrацией (рис.4.4).

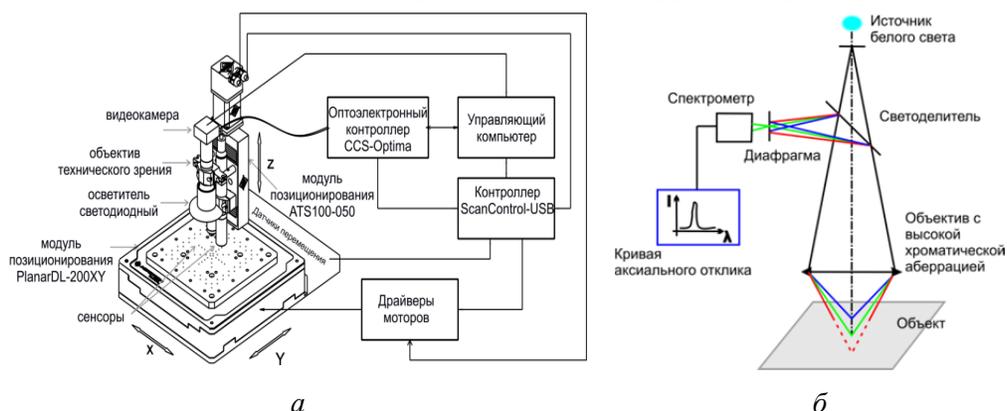


Рис. 4.4. *а* – функциональная схема устройства, включая основные модули; *б* – оптическая схема сканирующей головки (принцип измерения – конфокальная хроматическая микроскопия)

На рис. 4.5 показаны изображения стеклянной подложки, полученные с помощью измерительной системы в несколько кадров, на них автоматически выделяются зоны для сканирования профилометром.

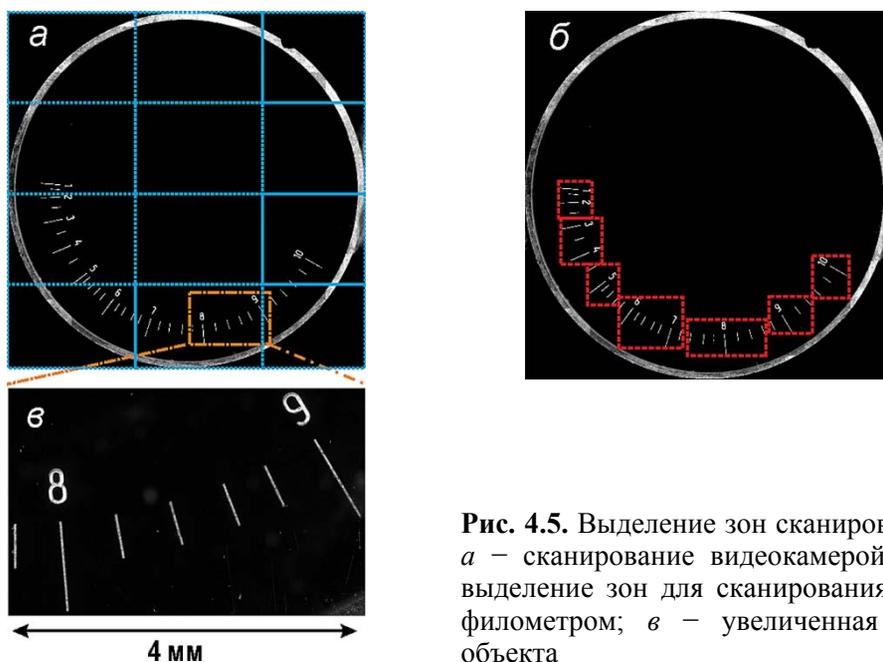


Рис. 4.5. Выделение зон сканирования: *а* – сканирование видеокамерой; *б* – выделение зон для сканирования профилометром; *в* – увеличенная зона объекта

Технико-экономические преимущества:

Близкими аналогами являются оптические микроскопы и профилометры: SolarScan (Solarius Inc. <http://www.solarius-inc.com>, Сан-Хосе, США) – на основе принципа конфокальной хроматической микроскопии; MicroCam (Novacam Inc. <http://www.novacam.com/products/profilometers>, Квебек, Канада) – на основе принципа никокогерентной интерферометрии; ZeGage (Zugo Inc. <http://www.zygo.com>, Мидлфилд, США) – на осно-

ве интерферометрии белого света; Sensofar S Neox (Sensofar Inc., <http://www.sensofar.com>, Барселона, Испания) – на основе принципа конфокальной микроскопии с использованием пространственного модулятора света.

Преимущества предлагаемой системы:

- Интеграция в одном продукте средств измерения, обработки данных и контроля качества по данным САD-модели;
- Исключены ошибки (сферические aberrации, дисторсия) при восстановлении 3D-модели;
- Возможность измерения поверхности высококонтрастных объектов (коэффициент отражения которых локально изменяется более чем на 3 порядка);
- Встроенные алгоритмы, обеспечивающие высокую точность измерений:
 - обработки пространственных данных (коррекция ошибок, фильтрация, компенсация наклона);
 - сравнения данных измерений с САD-моделью (автоматическое совмещение, поиск границ объектов, определение размеров и формы структурных элементов объекта и эффектов обработки).

Таким образом, предлагаемая система обладает значительными преимуществами по сравнению с аналогами, что объясняется в основном наличием высокоэффективных программных средств. Кроме того, в отличие от конкурентов, есть возможность в рамках заказа создать дополнительные программные модули, которые упростят обработку специфических профилометрических данных.

Основные особенности программного обеспечения (рис. 4.6–4.8), используемого профилометрической системой:

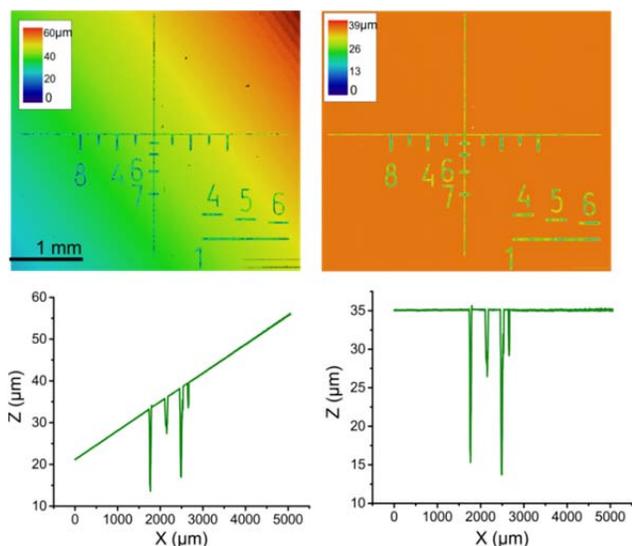


Рис. 4.6. Обработка профилометрических данных: слева – карта высот и профиль исходной поверхности, справа – коррекция наклона и удаление выбросов

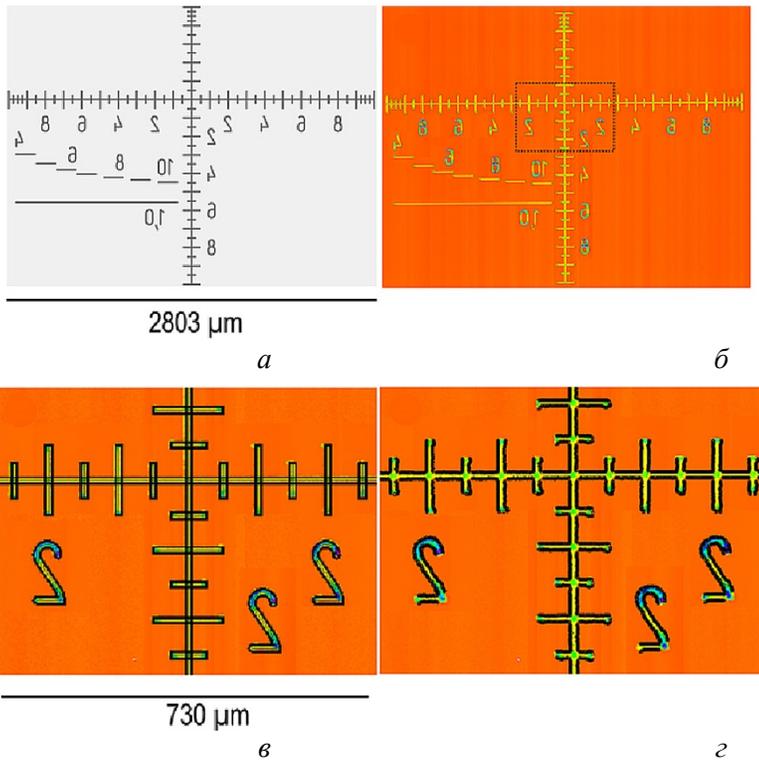


Рис. 4.7. Автоматический контроль качества ФС лазерной микрообработки: *а* – CAD-модель, *б* – профилограмма, *в* – совмещение с CAD-моделью, *г* – выделение границ объектов. По результатам может быть проведено сравнение размеров элементов с заданными величинами по системе допусков

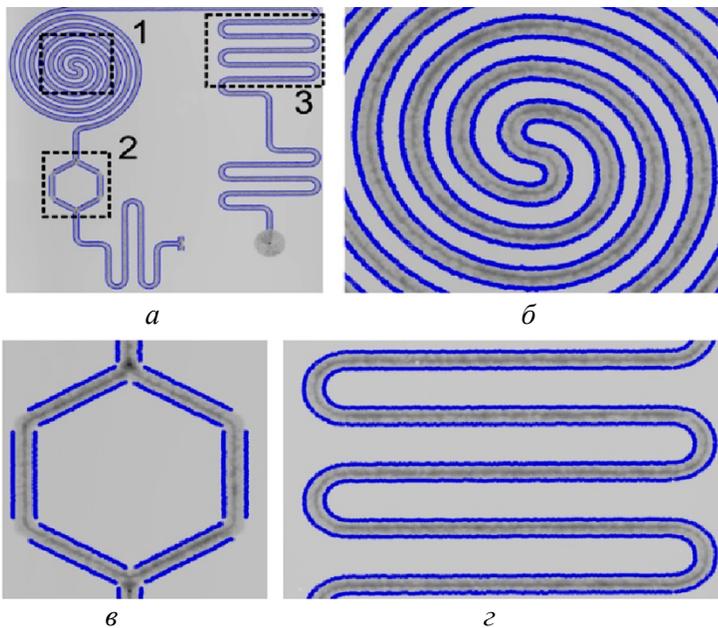


Рис. 4.8. Контроль качества микроканалов: *а* – исходная профилограмма, *б–г* – увеличенные зоны 1, 2, 3. Синие точки – точки границ микроканалов, выделенные автоматически с помощью встроенных алгоритмов

Области применения: оптико-механическая промышленность, машиностроение, авиастроение, радиоэлектронная и пр., везде, где необходимо измерение рельефа поверхности изделий, полученных в процессе 3D микроформообразования, например травления, лазерной микрообработки, напыления, литографии, эрозионной обработки, полировки.

Уровень практической реализации: изготовлены и поставлены заказчику опытные образцы. В Институте накоплен опыт мелкосерийного производства систем аналогичной сложности.

Патентная защита:

Свидетельства о гос. регистрации программ ЭВМ:

- № 2014613984 «Программа для контроля качества лазерной микрообработки MarkInspektor»;
- № 2015616114 «Программа для контроля качества прецизионной лазерной микрообработки оптических элементов (формирования сеток, масок, шкал) Profilometer».

Коммерческие предложения: совместное производство, продажа изделий. Гарантийное обслуживание от 1 года, послегарантийное обслуживание может быть проведено по соглашению с заказчиком.

Ориентировочная стоимость: от 5 до 10 млн. рублей в зависимости от аппаратной комплектации и требуемых модулей обработки пространственных данных.

4.3. Системы управления и навигации автономных мобильных роботов

Предлагаются системы управления и навигации автономных мобильных роботов. Основные решаемые задачи: траекторное управление, групповое управление, определения местоположения при движении в заранее неизвестной среде, планирование траектории движения при обходе препятствий.

Для управления подвижными объектами – автономными мобильными роботами – предложены оригинальные принципы формирования управляющих параметров, обеспечивающих движение по заданным траекториям, а также поддержание требуемого расположения роботов в группе.

Предложены новые методы обхода препятствий, оценивания и компенсации погрешности алгоритмов определения местоположения при автономном движении робота в заранее неизвестной среде.

Успешно решены задачи повышения точности восстановления траектории подвижного объекта на основе только сенсорной информации от датчиков, расположенных на объекте (носимых датчиков).



Рис. 4.9. Мобильные автономные роботы

Технико-экономические преимущества:

Предложенные алгоритмы основаны на использовании методов адаптивной фильтрации в решении задач позиционирования, в частности в задаче одновременного определения пространственного положения и построения карты местности (SLAM).

Применение данных методов может существенно повысить точность позиционирования за счет уменьшения систематических погрешностей, неизбежно возникающих при использовании автономных инерциальных систем навигации даже высокого класса точности.

Разработанные алгоритмы не предполагают наличия априорной информации об окружающей среде.

Применение групп роботов позволит снизить риск для людей в условиях вредных или даже опасных сред, сократить затраты, связанные с обеспечением безопасности, увеличить производительность предприятий и т. п.

Области применения: решение задач мониторинга, разведки, геодезии, связи и контроля, задач, требующих скоординированных действий, противопожарных и спасательных операции и т. п.

Уровень практической реализации: разработанная на основе данной АСДУ система диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена эксплуатируется с 2005 г. Система также ежегодно совершенствуется и дополняется модулями, предоставляющими новые функции персоналу.

Коммерческие предложения: договор на разработку, изготовление и поставку продукции.

Ориентировочная стоимость: от 3 млн. рублей.

4.4. Углоизмерительная машина (УИМ) АЭ.1686

УИМ АЭ.1686 ПМ (рис. 4.10) предназначена для измерения и определения угловых параметров и других характеристик фотошаблонов и рабочих образцов оптических лимбов, круговых шкал, растров и многорядных кодовых дисков в автоматическом режиме, в том числе:

- углового положения границ элементов топологии;
- угловой привязки положений элементов топологии, находящихся на разных радиусах;
- углового положения осей элементов топологии;
- углового отклонения положения границ элементов топологии;
- отклонения положения осей от номинальных значений, указанных в КД;
- ширины и разности ширины элементов топологии.



Рис. 4.10. Внешний вид оптико-механического блока УИМ АЭ.1686

Основные технические характеристики УИМ:

- | | |
|--|------------------|
| – Погрешность измерения углового положения границ элементов топологии | ± 0.5 угл. с |
| – Погрешность измерения угловой привязки положений элементов топологии, находящихся на разных радиусах | ± 0.5 угл. с |
| – Погрешность определения углового положения осей, углового отклонения положения границ элементов топологии и положения осей от номинальных значений, указанных в КД | ± 0.5 угл. с |
| – Погрешность определения ширины и разности ширины элементов топологии | ± 0.1 мкм |
| – Время измерения параметров для УИС, расположенных на одном радиусе | не более 5 мин |
| – Радиальная длина элементов топологии | от 0.2 до 5 мм |

Технико-экономические преимущества:

Конструкция оптико-электронного блока УИМ воплотила в себе идеологию так называемой *главной плоскости установки*, при которой важнейшие компоненты установки размещаются точно в этой плоскости или симметрично относительно неё. Это обеспечивает долговременную стабильность важнейших показателей комплексов, воплощающих данную концепцию. Большое значение для получения долговременной стабильности метрологических показателей УИМ имеет использование гранитной плиты не только как стабильного основания, но и как активного рабочего инструмента, с помощью которого реализованы рабочие поверхности линейных направляющих.

Подобный подход выполнен в технологических комплексах подобного класса впервые. Аналогов в РФ нет.

Оптико-электронный блок УИМ создан на базе унифицированной платформы, предполагающей наличие специализированных модулей, с помощью которых можно создавать различные контрольно-измерительные и технологические комплексы фотоники субмикронного разрешения, в том числе лазерные генераторы изображений, работающие в полярной системе координат.

Области применения: специальные разделы фотоники, связанные с созданием прецизионных интегральных датчиков физических величин (ИДФВ), таких как: датчики угла поворота, датчики давления, расхода, скорости вращения, ускорения и т. д.

Уровень практической реализации: созданы опытные образцы, в том числе для крупного предприятия космической отрасли.

Патентная защита:

В конструкции использованы технические решения, защищённые патентами РФ:

- № 120298 «Измеритель угла поворота».
- № 83133 «Шпindelный узел».
- Заявка № 2015119867/28 на получение патента на изобретение «Способ калибровки углового датчика».

Возможна подача заявки на полезную модель. Материалы заявки касаются базовой платформы.

Коммерческие предложения: договор на изготовление и поставку продукции.

Ориентировочная стоимость: ~25 млн. руб.

4.5. Двухканальная круговая лазерная записывающая система (ИАиЭ СО РАН совместно с КТИ НП СО РАН)

Двухканальная круговая лазерная записывающая система (ДКЛЗС) состоит из следующих единиц: гранитного основания на виброзащитной платформе; прецизионного шпинделя на аэростатических опорах с приводом вращения и планшайбой для крепления подложек; системы линейного перемещения на аэростатических опорах с линейным двигателем; лазерного интерферометра для измерения линейного перемещения; блока записи с системой автоматической фокусировки и видеокамерой контроля; двух каналов записи с акустооптическими модуляторами и лазерами с рабочими длинами волн 405 и 532 нм соответственно; электронной системы контроля управления всеми узлами ДКЛЗС (рис. 4.11). Электронная система контроля управления всеми узлами ДКЛЗС включает управляющий персональный компьютер, работающий под операционной системой WINDOWS XP и имеющий комплект специализированных РС-плат; силовой блок, установленный под гранитным основанием; комплект электронных блоков, установленных на гранитном основании и каретке системы линейного перемещения. Электронная система контроля управления ДКЗС работает под управлением пакета программного обеспечения, поставляемого в комплекте.



Рис. 4.11. Двухканальная круговая лазерная записывающая система

Принцип работы ДКЛЗС основан на формировании сфокусированным лучом лазера высокой мощности скрытых изображений в светочувствительных слоях. Запись изображений осуществляется путем пошагового перемещения записывающего лазерного пучка по радиусу непрерывно вращающейся подложки со светочувствительным слоем и синхронизированной с ее вращением модуляции мощности пучка под управлением компьютера.

В качестве светочувствительных слоев используются пленки фоторезиста для записи на длине волны 405 нм или пленки хрома для записи на длине волны 532 нм. После экспонирования светочувствительного слоя микрорисунок на подложках проявляется после жидкостного проявления.

Микроструктура фотошаблонов и оптических элементов может рассчитываться как в процессе записи для простых случаев (кольцевые и линейные решетки, надписи), так и рассчитываться или подготавливаться заранее для сложных структур.

Применение ДКЛЗС позволяет решить задачи по изготовлению на стеклянных заготовках, покрытых пленками хрома, шкал, сеток и лимбов, кодовых дисков, фотошаблонов дифракционных оптических элементов, фотошаблонов для элементов микромеханики и интегральной оптики. Кроме этого ДКЛЗС позволяет формировать на фоторезисте, нанесенном на стеклянную заготовку, 3D многоуровневый микрорельеф многоуровневых компьютерно-синтезированных голограмм и дифракционных оптических элементов, который может быть в дальнейшем перенесен в материал подложки реактивным ионным травлением (в случае применения кварцевой подложки) или реплицирован на поверхности полимера методами гальванопластики и инжекционного литья под давлением.

Основные технические характеристики

Диаметр подложек, мм	285
Толщина подложки, мм	до 25
Диаметр записывающего пятна, мкм	0.7
Скорость вращения подложки, об/с	5–10
Погрешность радиальной координаты, нм	30 (с.кв.зн.)
Погрешность угловой координаты	1.5 (с.кв.зн.)
Длины волн записывающих лазеров, нм	405 и 532
Материалы для записи	хром, фоторезист, фоторезист на хrome

Технико-экономические преимущества:

ДКЛЗС является по совокупности параметров наиболее точным и универсальным инструментом для синтеза дифракционных оптических элементов, угловых шкал и лимбов. Но за рубежом промышленно производятся только лазерные литографические системы, работающие в декартовой системе координат. Это связано с тем, что основными потребителями для них являются не производители дифракционной оптики, а производители микросхем. При анализе и разработке методов записи дифракционных структур необходимо учитывать особенности применения к обеим группам устройств.

Отечественных аналогов нет. Прямых зарубежных промышленно-выпускаемых аналогов нет. Ближайшим по назначению конкурентом является лазерная литографическая система DWL 66+ (Heidelberg Instruments GmbH), осуществляющая запись сканированием сфокусированного лазерного пучка в декартовой системе координат. ДКЛЗС имеет такие же пространственное разрешение и точность, как и DWL 66+, но в отличие от последней позволяет осуществлять прямую лазерную запись как на обычных фоторезистах, так и на термочувствительных материалах без фоторезиста. Кроме этого в отличие от DWL 66+ ДКЛЗС позволяет осу-

шествлять запись на нестандартных тяжелых подложках диаметром до 285 мм и толщиной до 25 мм.

Области применения: изготовление дифракционных элементов с бинарным и полутоновым амплитудным пропусканием; изготовление фазовых дифракционных элементов с непрерывным профилем; изготовление оптических шкал, лимбов, кодовых дисков; изготовление прецизионных растров, масок, оптических пространственных фильтров, запись фотошаблонов общего назначения с полем диаметром до 280 мм.

Уровень практической реализации: создан комплект конструкторской документации. Первые заказные образцы переданы заказчикам из оптико-механической промышленности России и находятся в эксплуатации. Возможен выпуск до двух систем в год.

Патентная защита:

- Патент РФ № 2540065 «Способ изготовления дифракционного оптического элемента (ДОО)»;
- Патент на ПМ №135116 «Оптическая угловая шкала и система контроля погрешности её изготовления»;
- Патент на ПМ № 157299 «Устройство для регистрации индикатрисы рассеяния излучения от контролируемой поверхности»;
- Свидетельство РФ о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014615895 «Программа управления круговым лазерным записывающим устройством».

Коммерческие предложения: договор на изготовление и поставку продукции. Поддерживается гарантийное и послегарантийное обслуживание.

Ориентировочная стоимость: ~ 40 млн. руб.

4.6. Лазерный интерферометр ФТИ-100PS для контроля оптических поверхностей (ИАиЭ СО РАН совместно с ЗАО «Дифракция»)

В условиях современного оптического производства актуальной является задача быстрого нанометрического бесконтактного контроля формы поверхности изготовленных оптических деталей. Отечественная промышленность серийно не выпускает универсальные интерферометры, с помощью которых можно контролировать как сферические, так и асферические поверхности оптических деталей. Существующие на рынке образцы интерферометров производства зарубежных фирм имеют высокую стоимость.

Предлагается универсальный лазерный интерферометр ФТИ-100PS для прецизионного контроля оптических изделий в условиях лабораторий и цехов предприятий оптической промышленности (рис. 4.12). Прибор позволяет с высокой точностью контролировать форму плоских, сферических и асферических поверхностей. В качестве эталонных эле-

ментов могут применяться дифракционные (голографические) корректеры волнового фронта.

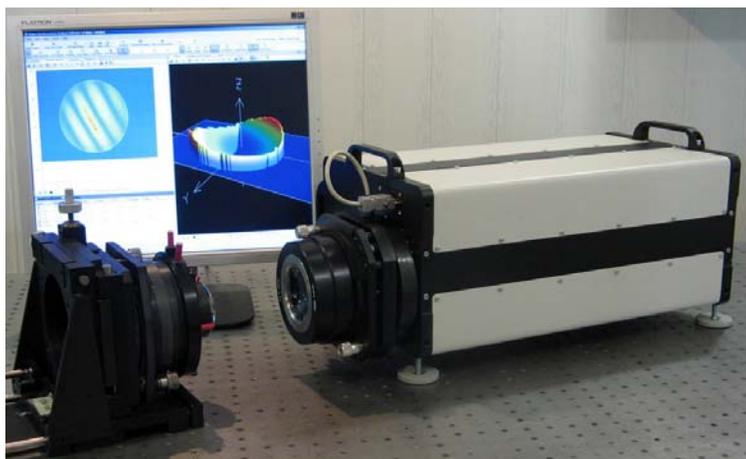


Рис. 4.12. Лазерный интерферометр ФТИ-100PS

Интерферометр работает по схеме Физо. Источник излучения – одночастотные лазеры с длиной волны 532, 633 и 1064 нм (по выбору). Регистрация интерферограмм осуществляется прецизионной цифровой видеокамерой. Управление всеми функциями прибора (наводка, измерение, анализ интерферограмм, фокусировка, увеличение, интенсивность излучения) осуществляется от компьютера (интерфейс Gigabit Ethernet (GbE), расстояние до 100 м) дистанционно. Это позволяет использовать прибор в чистых зонах, в удалённом от оператора помещении или измерительном стенде. Интерферометр позволяет контролировать форму оптических деталей с размерами от нескольких миллиметров до нескольких метров с воспроизводимостью $\lambda/1000$ (СКО).

Основные технические характеристики

Источник излучения	одночастотный лазер: 632.8 нм (532 нм, 1064 и др. по согласованию)
Разрешение камеры	1280×1024 (пк)
Световой диаметр пучка	102 мм
Увеличение	1_x-6_x
Фокусировка	-0.5/+2 м
Регулировка интенсивности	1-100%
Поле юстировочного канала	+/-2°
Точность измерений	$\lambda/200^*$
Воспроизводимость измерений	$\lambda/1000^*$ (rms)
Время одного измерения	<0.5 с (0.05 мс)
Программное обеспечение	программа управления и анализа интерферограмм
Габариты	205×270×490 мм
Вес	~ 18 кг

Программное обеспечение интерферометра поддерживает алгоритмы вычисления фазы волнового фронта по интерферограммам, полученным с различным фазовым сдвигом, а также по одной интерферограмме (метод трассировки полос и спектральный метод). Обеспечивается автоматическая расшифровка серии интерферограмм и представление результата в виде 1D, 2D или 3D карт поверхности.

Прибор позволяет контролировать как плоские, так и сферические оптические поверхности с помощью стандартных эталонных объективов Физо (совместимость со стандартными 4-дюймовыми эталонами семейства Zygo), а также асферические оптические поверхности с помощью эталонных дифракционных оптических элементов (ДОЭ) разработки ИАиЭ СО РАН.

Технико-экономические преимущества: предлагаемый прибор по своим основным характеристикам сравним с лучшими зарубежными интерферометрами (ESDI (США), Intellium Z100 (США), MÖLLER-WEDEL OPTICAL GmbH Direct 100 (Германия), ZYGO Inc., GPI, Verifire XPZ (США) и др.), но за счет запатентованных новых технических решений имеет меньшую стоимость, большую гибкость в управлении и расширенные функциональные возможности, что делает целесообразным его широкое внедрение в качестве интерферометра для контроля формы оптических поверхностей на предприятиях оптико-механической промышленности, точного приборостроения, лабораторий НИИ и университетов.

Области применения: интерферометр с фазовым сдвигом ФТИ-100PS предназначен для прецизионного контроля плоских, сферических и асферических оптических поверхностей в условиях оптического производства и в научных исследованиях.

Уровень практической реализации: мелкосерийное и серийное производство совместно с ЗАО «Дифракция».

Патентная защита:

1. Патент РФ № 135115 «Интерферометр для контроля формы оптических поверхностей»;
2. Патент РФ № 147271 «Интерферометр для контроля формы и углового положения оптических поверхностей»;
3. Патент РФ № 2432546 «Интерферометр для контроля формы оптических деталей»;
4. Патент РФ № 2534435 «Эталонный дифракционный оптический элемент (варианты)».

Коммерческие предложения: поставка прибора ФТИ-100PS и дифракционных эталонных объективов. Поддерживается гарантийное и послегарантийное обслуживание.

Ориентировочная стоимость прибора: ~2 млн. руб.

4.7. Оптический профилометр на базе микроинтерферометра МИИ-4М

Профилометр предназначен для измерения толщины пленок и глубины микрорельефа в диапазоне до ± 50 мкм с нанометровым разрешением при проведении исследований в области микро- и оптоэлектроники, технологий дифракционной оптики, лазерной микрообработки, глубокой рентгенолитографии.

Профилометр выполнен на основе стандартного оптического блока микроинтерферометра МИИ-4М, снабженного цветной USB видеокамерой (рис. 4.13). Для измерения глубокого микрорельефа в оптический блок встроен прецизионный оптический энкодер для измерения перемещения объектива микроскопа. Для освещения объектов в белом и квази-монохроматическом свете используется светодиодный осветитель с управлением и питанием от USB-порта управляющего компьютера.



Рис. 4.13. Оптический профилометр на базе микроинтерферометра МИИ-4М

Профилометр имеет два режима измерения: однофокусный и многофокусный. В многофокусном режиме для определения глубины микрорельефа используются показания лазерного интерференционного датчика перемещения объектива.

Алгоритм работы программного обеспечения, поставляемого в комплекте, включает определение периода и трекинг (определение положения и формы) полос. Результаты измерения представляются в виде двумерной профилограммы или в виде таблицы со значениями координаты и глубины. Программное обеспечение предоставляет следующие возможности математической обработки: линейная и параболическая аппроксимация формы микрорельефа; вычисление высоты ступеньки; вычисление среднеквадратичной величины неровности микрорельефа. Для характеристики образцов с матовой поверхностью или высокой плотностью дефектов, не дающих возможность сделать прямой трекинг на ин-

терференционной картине, есть функция генерации усредненной ахроматической полосы, пригодной для последующего трекинга.

Основные технические характеристики:

Размер светового контролируемого поля, мкм	не менее 250×250
Диапазон коэффициента отражения контролируемой поверхности, %	2 до 100
диапазон измерения, мкм: в однофокусном режиме в многофокусном режиме	± 2 с погрешностью ± 20 нм ± 50 с погрешностью $\pm(20 \text{ нм} + 0,01 \cdot T)^*$
Количество пикселей цифровой видеокамеры, Мпк	3

* T – измеренное значение глубины микрорельефа.

Технико-экономические преимущества: предлагаемый прибор сравним по основным характеристикам с зарубежными оптическими профилометрами, но имеет существенно меньшую стоимость, что дает возможность для его широкого внедрения в качестве простого недорогого профилометра для цехов, лабораторий НИИ и университетов.

Области применения: профилометр предназначен для измерения толщины пленок и глубины микрорельефа в диапазоне до ± 50 мкм с нанометровым разрешением при проведении исследований в области микро- и оптоэлектроники, технологий дифракционной оптики, лазерной микрообработки, глубокой рентгенолитографии.

Уровень практической реализации: опытный образец (опытная установка). Работает в ИЯФ СО РАН.

Патентная защита: Свидетельство о государственной регистрации программ № 2015613757 «Программное обеспечение для управления комплексом устройств в составе интерферометра, захвата оцифрованных интерферограмм и их математической обработки в интерактивном режиме».

Коммерческие предложения: возможно мелкосерийное производство силами ИАиЭ СО РАН. Срок поставки определяется сроком поставки базового микроинтерферометра МИИ-4М (2–3 месяца). Поддерживается гарантийное и послегарантийное обслуживание.

Ориентировочная стоимость: ~ 850 тыс. руб.

5. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

5.1. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН В 2015 ГОДУ (на 31.12.2015)

<u>Численный состав (чел.)</u>	
Общая численность	371
В том числе:	
Научных работников	144
Академиков	1
Член-корреспондентов РАН	1
Докторов наук	33
Кандидатов наук	69
Научных работников без степени	40
Молодых (до 35 лет) специалистов	28
Аспирантов	22
<u>Публикации (шт.)</u>	
Монографии, главы в монографиях	3
Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (отечественных)	104
Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (зарубежных)	68
Доклады в сборниках (трудах) международных конференций	34
Охранные документы	31
<u>Количество проектов и договоров</u>	
«Базовые» проекты госзадания	10
Гранты и стипендии Президента РФ	7
РФФИ и РФФИ	23
Интеграционные проекты СО РАН	1
Договоры и контракты	
с российскими заказчиками	35
с зарубежными заказчиками	3

5.2. Структура научных подразделений

Научные лаборатории, тематические группы и их руководители

- (01): Физики лазеров – *А.И. Плеханов, д.ф.-м.н.*
Physics of Lasers – A.I. Plekhanov, Dr. Sci.
- (02): Нелинейной спектроскопии газов – *А.М. Шалагин, академик РАН, проф.*
Nonlinear spectroscopy of gases – A.M. Shalagin, Academician, Prof.
- (03): Нелинейной физики – *К.П. Комаров, д.ф.-м.н.*

Nonlinear Physics – *K.P. Komarov, Dr. Sci.*

- (04): Спектроскопии конденсированных сред – *Н.В. Суровцев, д.ф.-м.н.*
Condensed matter spectroscopy – *N.V. Surovtsev, Dr. Sci.*
- (04-1): Мощных ионных лазеров – *В.И. Донин В.И., д.ф.-м.н.*
High-Power Ion Lasers – *V.I. Donin, Dr. Sci.*
- (05): Оптических информационных систем – *В.А. Лабусов, д.т.н.*
Optical Information Systems – *V.A. Labusov, Dr. Sci.*
- (05-1): Многоканальных анализаторов оптического и рентгеновского излучений – *д.т.н. В.А. Лабусов.*
Multi-channel Analyzers of Optical and X-ray Radiation – *V.A. Labusov, Dr. Sci.*
- (05-2): Лазерных информационно-измерительных систем – *В.С. Соболев, д.т.н., проф.*
Laser Informatics-Measurement Systems – *V.S. Sobolev, Dr. Sci., Prof.*
- (06): Дифракционной оптики – *А.Г. Полещук, д.т.н.*
Diffractive Optics – *A.G. Poleschuk, Dr. Sci.*
- (06-1): Лазерной гравиметрии – *Ю.Ф. Стусь, к.т.н.*
Laser gravimetry – *Y.F. Stus, Ph. D.*
- (07): Лазерной графики – *В.П. Бессмельцев, к.т.н.*
Laser Graphics – *V.P. Bessmeltsev, Ph. D.*
- (08): Тонкопленочных сегнетоэлектрических структур – *Э.Г. Косцов, д.ф.-м.н.*
Thin-Film Ferroelectric Structures – *E.G. Kostsov, Dr. Sci.*
- (09): Нечетких технологий – *М.Н. Филиппов, к.т.н.*
Fuzzy Technologies – *M.N. Filippov, Ph. D.*
- (10): Цифровых методов обработки изображений – *В.П. Косых, к.т.н.*
Digital Methods for Image Processing – *V.P. Kosykh, Ph. D.*
- (11): Фотоники – *Д.А. Шапиро, д.ф.-м.н., проф.*
Photonics – *D.A. Shapiro, Dr. Sci., Prof.*
- (11-3): Нелинейной оптики – *Е.В. Подивилов, д.ф.-м.н.*
Nonlinear Optics – *E.V. Podivilov, Dr. Sci.*
- (12): Вероятностных методов исследования информационных процессов – *А.Л. Резник, д.т.н.*
Probability Research Methods for Information Processing – *A.L. Reznik, Dr. Sci.*
- (13): Программных систем машинной графики – *М.М. Лаврентьев, д.ф.-м.н.*

- Software Systems for Computer Graphics – *M.M. Lavrentyev, Dr. Sci.*
- (13-1): Магистрально-модульных систем – *О.В. Сердюков, к.т.н.*
Bus modular system – *O.V. Serdyukov, Ph. D.*
- (14): Синтезирующих систем визуализации – *Б.С. Долговесов, к.т.н.*
Computer Visualization Systems – *B.S. Dolgovesov, Ph. D.*
- (14-1): Информатики и прикладной математики – *А.В. Лихачев, д.т.н.*
Informatics and Applied Mathematics – *A.V. Likhachev, Dr. Sci.*
- (15): Информационной оптики – *С.М. Борзов, к.т.н.*
Information Optics – *S.M. Borzov, Ph. D.*
- (15-1): Оптико-электронных специализированных процессоров – *Е.С. Нежевенко, д.т.н.*
Optoelectronic Specialized Processors – *E.S. Nezhevenko, Dr. Sci.*
- (15-2): Имитационно-моделирующих стендов – *И.С. Гибин, д.т.н.*
Simulation Stands – *I.S. Gibin, Dr. Sci.*
- (15-3): Автоматизации измерительных технологий – *И.Н. Сквородин.*
Measuring Technology Automation – *I.N. Skovorodin.*
- (16): Интегрированных информационных систем управления – *А.А. Лубков, к.т.н.*
Integrated Informational Control Systems – *A.A. Lubkov, Ph. D.*
- (16-1): Языковых средств проектирования информационных систем управления – *В.Е. Зюбин, д.т.н.*
Linguistic Means for Design of Informational Control Systems – *V.E. Zyubin, Dr. Sci.*
- (16-2): Встроенных систем управления и обработки сигналов – *В.И. Литвинцев.*
Embedded Systems for Controlling and Signal Processing – *V.I. Litvintsev.*
- (17): Волоконной оптики – *С.А. Бабин, чл.-корр. РАН*
Fiber Optics – *S.A. Babin, Corr. Mem. of RAS*
- (17-1): Волоконных лазеров – *С.И. Каблуков, д.ф.-м.н.*
Fiber Laser – *S.I. Kablukov, Dr. Sci.*

5.3. РАБОТА УЧЕНОГО СОВЕТА

В 2015 г. состоялось 11 протокольных заседаний Ученого совета ИАиЭ СО РАН, на которых:

- Рассмотрены итоги деятельности ИАиЭ СО РАН в 2014 году;
- Утверждены индивидуальные планы и темы диссертационных работ аспирантов приема 2014 г., закреплены курирующие лаборатории, на базе которых будут осуществляться научные исследования аспирантов;
- Создана комиссия по проектам ИАиЭ СО РАН в программах ФНИ РАН, проведен конкурсный отбор заявок Института по этим программам на 2015–2016 гг.;
- Утвержден отчет ИАиЭ СО РАН о научной и научно-организационной деятельности в 2014 г.;
- Утверждены рейтинговые показатели подразделений Института за 2013–2014 гг.;
- Утверждены поправки к «Положению о порядке стимулирующих выплат сотрудникам научных подразделений ИАиЭ СО РАН»;
- Сформирована комиссия ИАиЭ СО РАН по стимулирующим выплатам;
- Проведены конкурсы на замещение вакантных должностей научных работников ИАиЭ СО РАН, по результатам которых выбрано: ведущих научных сотрудников – 2, старших научных сотрудников – 1, научных сотрудников – 5, младших научных сотрудников – 2;
- Представлен к присвоению почетного звания «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» главный научный сотрудник ИАиЭ СО РАН д.т.н. *Малиновский В.К.*;
- Проведены выборы членов ОУС СО РАН от ИАиЭ (д.т.н. *Потатуркин О.И.* и д.ф.-м.н. *Суровцев Н.В.*);
- В научно-организационное управление РАН представлено предложение по кандидатуре Киричука В.С. на получение стипендии Президента РФ работникам организаций оборонно-промышленного комплекса;
- Рассмотрены и поддержаны 2 заявки сотрудников Института (*Котов К.Ю.*, *Чубаков В.П.*) на участие в конкурсе 2015 г. на предоставление субсидий в виде муниципальных грантов мэрии города Новосибирска молодым ученым и специалистам;
- Рассмотрены и поддержаны 2 заявки аспирантов Института (*Князев И.В.*, *Окотруб К.А.*) на получение стипендии Правительства РФ на 2015/2016 учебный год обучающимся в аспирантуре по утвержденному перечню специальностей по направлениям модернизации и технологического развития российской экономики;

- Рассмотрены и поддержаны 3 заявки сотрудников Института (*Злобина Е.А., Лобач И.А., Паньков А.В.*) на получение стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики;
- Рассмотрены и поддержаны 4 заявки сотрудников Института (*Достовалов А.В., Зарубин И.А., Лобач И.А., Мальцев А.С.*) на участие в конкурсе на право получения гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук;
- Поддержана заявка научного сотрудника к.т.н. *Куликова В.А.* на участие в конкурсе именных премий Правительства Новосибирской области за выдающиеся научные достижения;
- Рассмотрено и поддержано представление зав. лабораторией теоретической теплофизики ИТ СО РАН д.ф.-м.н. *Гешева П.И.* к почетному званию «Заслуженный деятель науки Российской Федерации»;
- Обсуждены и утверждены важнейшие результаты научных исследований за 2015 г.;
- Утверждены отчеты по «базовым» темам фундаментальных научных исследований, выполнявшимся в рамках госзадания ИАиЭ СО РАН на 2015 г. в соответствии с Планом НИР Института и «Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы»;
- Утвержден итоговый отчет о результатах НИР по теме НШ-4447.2014.2 «Спектроскопия и фотоника наноструктур, волоконных световодов и газовых сред», выполненной в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ (руководитель академик РАН *Шалагин А.М.*), а также отчет по заключительному этапу темы «Исследование временных и статистических свойств генерации волоконного лазера со случайной распределенной обратной связью», выполняемой в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых МК-228.2014.2. (руководитель к.ф.-м.н. *Чуркин Д.В.*);
- Рассмотрены и утверждены государственное задание и план НИР Института на 2016 г., включая проекты в рамках программ ФНИ Президиума и Отделений РАН.

5.4. РОСТ И ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ КАДРОВ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Аспирантура ИАиЭ СО РАН ведет обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров по следующим направлениям подготовки:

03.06.01 Физика и астрономия. Специальность 01.04.05 Оптика (физико-математические науки, технические науки).

09.06.01 Информатика и вычислительная техника. Специальность 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии. Специальность 05.11.07 Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы (физико-математические науки).

В 2015 году в аспирантуру Института принято 7 человек, все – выпускники 2015 года (5 – из НГУ, 2 – из НГТУ).

Всего на 30.11.2015 обучение проходят 22 аспиранта. В 2015 году 1 выпускник закончил обучение с представлением диссертации.

В Институте работал диссертационный совет Д 003.005.01 (специальности: 01.04.04 – «Физическая электроника», физико-математические науки; 01.04.05 – «Оптика», физико-математические и технические науки; 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», технические науки).

В 2015 г. проведено 4 заседания Совета, защищено 3 диссертации (1 докторская, 2 кандидатских).

На соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика» –

Чуркин Д.В. «Стохастические режимы генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера».

На соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика»:

Ватник И.Д. «Мощностные характеристики волоконного ВКР-лазера со случайной распределенной обратной связью»;

Достовалов А.В. «Создание периодических структур фемтосекундным излучением внутри световодов и на поверхности металлов».

В диссертационном совете Д.003.024.01 при Институте лазерной физики СО РАН сотрудником Института *Комаровым А.К.* защищена диссертация «Динамика формирования и взаимодействия ультракоротких импульсов в лазерах с пассивной синхронизацией мод» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 «Лазерная физика».

В диссертационном совете Д.003.055.02 при Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН сотрудником Института *Абалмасовым В.А.* защищена диссертация «Теоретическое исследование поведения спинов электрона и ядер в квантовой точке» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Институт является базовым для трех специализированных кафедр Новосибирского государственного университета: «Квантовая оптика» (КО) – зав. кафедрой директор Института академик РАН *Шалагин А.М.*, «Автоматизация физико-технических исследований» (АФТИ) – зав. ка-

федрой зам. директора по научной работе д.т.н. *Киричук В.С.* и «Информационно-измерительные системы» (ИИС) – зав. кафедрой зам. директора по научной работе д.т.н. *Потатуркин О.И.*, а также кафедры Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) «Оптические информационные технологии» (ОИТ) – зав. кафедрой заведующий лабораторией Оптических информационных систем Института д.т.н. *Лабусов В.А.* На этих кафедрах в 2015 г. обучались 79 студентов 3–4 курсов и 28 магистрантов. Под руководством научных сотрудников Института выполняли дипломные работы и магистерские диссертации 57 студентов различных вузов Новосибирска.

С Новосибирским государственным университетом заключено соглашение о сотрудничестве в направлении подготовки научных и инженерных кадров, а также области научных исследований и инновационной деятельности.

В работе со студентами, магистрантами и аспирантами участвовали около 50 сотрудников Института, среди которых один академик, один член-корреспондент РАН, 15 докторов и 22 кандидата наук.

Аспиранты и магистранты ИАиЭ СО РАН получают дополнительную оплату при их участии в научно-исследовательских работах лабораторий Института.

На базе Института действует шесть научно-образовательных центров (НОЦ). Совместно с НГУ созданы НОЦ в области автоматике и волоконной оптики НОЦ АВО (руководитель академик РАН *Шалагин А.М.*, исполнительный директор чл.-корр. РАН *Бабин С.А.*), НОЦ «Опτικο-информационные технологии в приборостроении» (руководитель д.т.н. *Потатуркин О.И.*), НОЦ «Прикладные системы для хранения, обработки и передачи информации» (руководитель к.т.н. Романанко А.А.). В 2010 году совместно с НГТУ и КТИ НП СО РАН создан НОЦ «Оптические информационные технологии» (руководитель д.т.н. *Лабусов В.А.*). В 2011 году совместно с НГУ, ИФП СО РАН, КТИ НП СО РАН, ОАО «ЦКБ» Точприбор» и ОАО «ПО «НПЗ» создан НОЦ «Оптоэлектроника». Институт входит также в состав НОЦ НГТУ «Полупроводниковые нанотехнологии» (руководитель д.ф.-м.н. Гайслер В.А.).

На базе Института организованы постоянно действующие семинары: УНЦ «Квантовая оптика» (руководитель акад. РАН *Шалагин А.М.*) и «Информационные технологии и системы» (руководитель д.т.н., проф. *Потатуркин О.И.*), в рамках которых в 2015 году проведено 18 и 3 семинара соответственно.

Сотрудники Института принимают участие в исследованиях Лаборатории нелинейной фотоники НГУ по направлению «Физическая платформа нелинейных фотонных технологий и систем», проводимых под руководством профессора Турицына С.К. (Университет Астон, Великобритания) в рамках гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессио-

нального образования, научных учреждениях государственных академий наук и государственных научных центрах РФ.

Достижения молодых ученых Института отмечены различными грантами и стипендиями.

В 2015 г. получила традиционную поддержку в виде гранта Президента РФ научная школа «Спектроскопия и фотоника наноструктур, волоконных световодов и газовых сред» (руководитель акад. РАН *Шалагин А.М.*). Грантом Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых отмечена работа к.ф.-м.н. *Чуркина Д.В.* («Исследование временных и статистических свойств генерации волоконного лазера со случайной распределенной обратной связью»).

Стипендия Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики на 2015–2017 г., получена *Ватником И.Д.* Аналогичную стипендию в 2015 году продолжал получать *Булусев Е.Д.*

Аспиранты Института *Узилов С.Б.* и *Потатуркин А.О.* продолжали получать стипендии Правительства РФ для обучающихся по направлениям подготовки (специальностям), соответствующим приоритетным направлениям модернизации и технологического развития экономики РФ.

Грант SPIE для участия в конференциях "Student Chapter Leadership Workshop 2015" и "Optics + Photonics 2015" (США) получен *Вольфом А.А.*

Гранты Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере на 2015–2016 гг. по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») по Новосибирской области получены *Лобачем И.А.* за проект «Устройство опроса волоконных сенсорных систем на базе волоконного лазера с пассивным сканированием частоты» и *Чубаковым В.П.* за разработку аппаратного комплекса проведения биомедицинской диагностики методом цифровой ПЦР.

Именную стипендию Новосибирского Технологического Центра компании ЗАО «Бейкер Хьюз» по результатам летней сессии 2015 года получил магистрант НГУ *Бенимецкий Ф.А.* (руководитель Плеханов А.И.)

В рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки научных школ РФ сотрудниками Института выполнен проект «Исследование формирования пространственно-временных структур в нелинейных средах и системах», научный руководитель *д.ф.-м.н. Комаров К.П.*, грант № НШ-3753.2014.2 «Развитие теории нелинейных явлений» (школа академика Захарова В.Е., чл.-корр. РАН Кузнецова Е.А.).

В отчетном году Институт входил в состав организаторов V Сибирского семинара «Спектроскопия комбинационного рассеяния света», Всероссийской конференции с международным участием «Индустриальные информационные системы» – ИИС-2015, Всероссийской конференции «Физика ультрахолодных атомов – 2015», а также Всероссийской конференции «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов». Институт являлся также

соорганизатором Международной конференции «СибОптика» в рамках Международного форума «Интерэкспо ГЕО-Сибирь – 2015».

Молодые ученые Института активно участвуют в популяризации науки и подготовке подрастающего поколения будущих ученых: в рамках Дней науки в Институте традиционно проводятся экскурсии для студентов и школьников. В 2015 году при поддержке Института организован и проведен Первый турнир юных инженеров-исследователей Новосибирской области, в котором приняли участие 11 команд из 10 образовательных организаций НСО.

В 2015 году произошло важное для Института событие – заведующему лабораторией д.ф.-м.н. Суровцеву Н.В. присвоено почетное звание Профессор РАН.

5.5. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

Продолжалось сотрудничество ученых ИАиЭ СО РАН с учеными Института электроники Болгарской АН (г. София).

Совместно с коллегами из Анжуйского (Франция), Дижонского (Франция) и Фрайбургского (Германия) университетов продолжались исследования формирования световых структур в нелинейных средах и системах, включая волоконные генераторы ультракоротких импульсов света и микрорезонаторы. Получены результаты, позволяющие определить характеристики этих структур через параметры исследуемых систем. Результаты проведенных совместных исследований опубликованы в ведущих научных журналах.

Совместно с украинскими коллегами (НПО «Доминантекс» и «Индастриал технолоджиз групп», г. Киев) продолжаются работы, связанные с разработкой алгоритмического и программного обеспечения для решения прямых и обратных задач дифракции и сейсмотомографии.

Результаты фундаментальных исследований сотрудников Института в области колебательной спектроскопии кристаллов отражены в совместных публикациях с зарубежными учеными из Черкасского национального университета (г. Черкассы, Украина).

Поддерживается сотрудничество с Международной Ассоциацией научного и технологического развития IASTED. Заведующий лабораторией д.т.н. А.Л. Резник является членом Технического Комитета IASTED по обработке изображений, входит в Программные комитеты и принимает активное участие в формировании научных программ и отборе работ для Международных научных конференций “Signal and Image Processing” (SIP), “Visualization, Imaging and Image Processing” (VIIP), “Automation, Control, and Information Technology” (ACIT).

По программе совместных фундаментальных исследований СО РАН и НАН Беларуси (2015–2017 гг.) в сотрудничестве с Объединенным институтом проблем информатики (г. Минск) выполняется проект «Разработка средств интеллектуальной программной поддержки для ускоренного решения трудоемких задач цифровой обработки информации».

В 2015 году ИАиЭ СО РАН стал одним из участников Международного консорциума по терагерцовой фотонике и оптоэлектронике, который объединяет более 70 ведущих российских и иностранных организаций, занимающихся образовательной и исследовательской деятельностью, опытно-конструкторскими работами, связанными с возможными применениями волн терагерцового диапазона.

Подписан Протокол о намерениях сотрудничества между Институтом автоматизации Академии наук провинции Хэйлунцзян КНР и ИАиЭ СО РАН в области позиционирования и определения траекторий движения людей с помощью инерциальной навигационной системы, а также в области беспроводной передачи, обработки и 3D отображения информации в реальном времени.

Подписано Соглашение о научном и технологическом сотрудничестве между Колледжем электроники и информационной инженерии Чанчуньского университета науки и технологий (ЧУНТ) и ИАиЭ СО РАН.

В рамках проекта RANFIELDS (Random Fibre Lasers for Telecommunications and Distributed Sensing) европейской программы обменов FP7-PEOPLE-2010-IRSES осуществлены визиты в университет Астон, Великобритания (Ватник И.Д.) и Университет Тампере, Финляндия (Кузнецов А.Г.) для выполнения совместных работ по созданию и исследованию свойств рэлеевских волоконных лазеров со случайной распределенной обратной связью.

В соответствии с грантом РФФИ № 15-52-45068/15 ИНД_а (совместный конкурс российско-индийских проектов 2015 г.) выполняется проект «Непрерывные и импульсные поляризационно-зависимые волоконные параметрические генераторы для применений в биомедицинской диагностике» совместно с учеными Индийского технологического института в Кхарагпуре (Indian Institute of Technology Kharagpur).

Грант SPIE для участия в конференциях "Student Chapter Leadership Workshop 2015" и "Optics + Photonics 2015" (США) получен *Вольфом А.А.*

ИАиЭ СО РАН является координатором и исполнителем международного проекта COSMA (Coherent Optics Sensors for Medical Applications) по научному обмену в рамках 7 Европейской рамочной программы International Research Staff Exchange Scheme (IRSES), FP7-PEOPLE-2011-IRSES (координатор *д.ф.-м.н. Насыров К.А.*).

Совместно с коллегами из университета «Рома Тре» (г. Рим, Италия) получены новые результаты по моделированию долговременной эволюции берегового профиля, которые представлены на международной конференции International Offshore and Polar Engineering Conference 2015.

В рамках договора о международном научно-техническом сотрудничестве с компанией Диоптик ГмбХ (Германия) продолжаются работы по дифракционной оптике, разработке и применению синтезированных голограмм.

В рамках контракта с Физико-техническим институтом Германии (г. Брауншвейг) сотрудники ИАиЭ СО РАН участвуют в разработке системы для измерения наносил.

Сотрудники Института принимают участие в исследованиях Лаборатории нелинейной фотоники НГУ по направлению «Физическая платформа нелинейных фотонных технологий и систем», проводимых под руководством профессора Турицына С.К. (Университет Астон, Великобритания) в рамках гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования, научных учреждениях государственных академий наук и государственных научных центрах РФ.

В отчетном году в заграничные служебные командировки (Великобритания, Германия, Китай, Израиль, Чехия, Италия, Франция, США, Финляндия, Турция, Испания, Казахстан, Белоруссия, Украина) для участия в совместных исследованиях, конференциях и выставках выезжали 36 сотрудников ИАиЭ СО РАН. С целью ознакомления с научными достижениями ИАиЭ СО РАН и обсуждения совместных работ Институт посетили 16 иностранных учёных из Южной Кореи, Болгарии, Франции, Китая, Саудовской Аравии, Турции.

Результаты исследований ученых ИАиЭ СО РАН были представлены более чем в 100 докладах на международных конференциях, а также на 8 международных выставках, в том числе 2 зарубежных.

В текущем году продолжали действовать 6 договоров о международном научно-техническом сотрудничестве (МНТС) с организациями:

- Университет Анже, г. Анже, Франция. Учетный номер НТИМИ 0683/03/10;
- Консорциум (Университет Астон, г. Бирмингем, Великобритания; Технологический университет Тампере, Финляндия; Университет Монс, Бельгия). Учетный номер НТИМИ 0474/02/12;
- Компания «Индустриал технолоджиз групп», г. Киев, Украина. Учетный номер НТИМИ 0487/02/13;
- НПО «Доминантекс», г. Киев, Украина. Учетный номер НТИМИ 0487/01/13;
- Институт Фотоники и Электроники Академии Наук Чешской Республики, г. Прага, Чехия. Учетный номер НТИМИ 0391/01/13.
- Федеральный физико-технический центр, Брауншвайг и Берлин, Германия. Учетный номер НТИМИ 0079/01/14.

В 2015 году зарегистрированы два новых договора МНТС с организациями:

- Диоптик ГмбХ, г. Вайнхайм, Германия. Учетный номер НТИМИ 0339/01/15.
- Академия наук провинции Хэйлунцзян, г. Харбин, КНР. Учетный номер НТИМИ 0340/01/15.

5.6. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2015 г. Институтом получено:

- 7 патентов на изобретения:
 - № 2540065 «Способ изготовления дифракционного оптического элемента (ДОЭ)» (авторы: Полешук А.Г., Корольков В.П., Шиманский Р.В., Черкашин В.В.). Официальный бюллетень РОСПАТЕНТА «Изобретения. Полезные модели» (далее – Бюллетень РОСПАТЕНТА) № 3, 27.01.2015;
 - № 2541732 «Компактное устройство записи изобразительных голограмм» (автор: Пен Е.Ф.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 5, 20.02.2015;
 - № 2542292 «Способ измерения уровня расплава и его скорости вращения при выращивании кристаллов» (автор: Михляев С.В.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 5, 20.02.2015;
 - № 2545498 «Способ определения скорости и направления ветра и некогерентный доплеровский лидар» (авторы: Титков В.И., Соболев В.С., Уткин Е.Н.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 10, 10.04.2015;
 - № 2548620 «Способ прокачки раствора красителя для лазерных резонаторов» (авторы: Суровцев Н.В., Рудыч П.Д.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 11, 20.04.2015;
 - № 2561338 «Устройство для визуализации инфракрасного излучения» (авторы: Гибин И.С., Гугучкин В.И., Котляр П.Е.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 24, 27.08.2015;
 - № 2566385 «Волоконный источник однонаправленного одночастотного поляризованного лазерного излучения с пассивным сканированием частоты (варианты)» (авторы: Бабин С.А., Каблуков С.И., Лобач И.А.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 30, 27.10.2015.
- 7 патентов на полезные модели:
 - № 149457 «Устройство контроля положения плоскости изделия для систем автофокусировки» (авторы: Бессмельцев В.П., Лоншаков Е.А.). Бюллетень РОСПАТЕНТА, № 1, 10.01.2015;
 - № 150413 «Приставка к цифровому вольтметру для измерения токов фемтоамперного диапазона» (автор: Попов Ю.А.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 5, 20.02.2015;
 - № 150406 «Устройство для считывания линейных штриховых кодов» (авторы: Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Горяев Е.П.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 5, 20.02.2015;
 - № 151073 «Устройство преобразования сигналов интерферометра для высокоточных измерителей перемещений» (авторы: Щербаченко А.М., Соболев В.С.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 8, 20.03.2015;
 - № 155171 «Устройство записи голограмм» (автор: Пен Е.Ф.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 27, 27.09.2015;

- № 155202 «Конфокальный интерферометр Фабри-Перо» (авторы: Атутов С.Н., Кучьянов А.С., Микерин С.Л., Плеханов А.И.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 27, 27.09.2015;
- № 157299 «Устройство для регистрации индикатрисы рассеяния излучения от контролируемой поверхности» (авторы: Полещук А.Г., Хомутов В.Н.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 33, 27.11.2015.
- 16 Свидетельств на программу ЭВМ:
 - № 2015610559 «Модуль взаимодействия с контроллером датчиков и пользовательский интерфейс приложения для мобильного мониторинга параметров жизнедеятельности пациента» (авторы: Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Макеев И.В.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.01.2015;
 - № 2015613757 «Программное обеспечение для управления комплексом устройств в составе интерферометра, захвата оцифрованных интерферограмм и их математической обработки в интерактивном режиме» (авторы: Шиманский Р.В., Корольков В.П.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25.03.2015;
 - № 2015614825 «Пользовательский интерфейс многофункционального микшера-коммутатора и базовая часть его серверного ядра» (авторы: Городилов М.А., Долговесов Б.С., Тарасовский А.Н., Храпцов И.Д.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28.04.2015;
 - № 2015614932 «Программа для ЭВМ «МОД-М15»» (авторы: Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29.04.2015;
 - № 2015614931 «Программа для ЭВМ «ВОБУЛА15»» (авторы: Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29.04.2015;
 - № 2015615060 «Программа для ЭВМ «М-ИМПРУВ15»» (авторы: Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 07.05.2015;
 - № 2015616114 «Программа для контроля качества прецизионной лазерной микрообработки оптических элементов (формирования сеток, масок, шкал) Profilometer» (авторы: Булушев Е.Д., Шоев С.А.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29.05.2015;
 - № 2015619699 «Модуль синхронизации для полиэкранных систем отображения» (авторы: Долговесов Б.С., Городилов М.А., Храпцов И.Д.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.09.2015;
 - № 2015619702 «Программа для ЭВМ «Т-МАТР15»» (авторы: Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.09.2015;
 - № 2015619703 «Программа для ЭВМ «М-ФЛТР15»» (авторы: Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.09.2015;

- № 2015619704 «Программа моделирования изображений, регистрируемых матричным фотоприемником в режиме микросканирования» (авторы: Киричук В.С., Шакинов А.К.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.09.2015;
 - № 2015619705 «Программа управления беспроводным емкостным сенсором ЭКС VVV Sensor» (авторы: Катасонов Д.Н., Вилейко В.В.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.09.2015;
 - «Программа для ЭВМ «М-СДВГ15»» (авторы: Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.09.2015;
 - № 2015619821 «Супервизорный модуль управления видеопотоками для отображения распределенных мультимедийных данных» (авторы: Долговесов Б.С., Городилов М.А., Радостев А.Х.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 15.09.2015;
 - № 2015660701 «Программа-архиватор электрокардиосигнала, получаемого емкостными бесконтактными сенсорами Комета 3.5» (автор Катасонов Д.Н.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 06.10.2015.
 - № 2015661630 «Программный пакет для автоматического подбора параметров при расчёте селективных свойств неоднородных голограмм» (автор Родионов М.Ю.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 02.11.2015.
- В РОСПАТЕНТе находятся заявки:
 - На изобретение «Способ изготовления многофункциональных прецизионных оптических прицельных сеток методом лазерной абляции с запуском» (авторы: Дьякова А.А., Бабин С.А., Бесмельцев В.П., Достовалов А.В.);
 - На изобретение «Способ фильтрации потока НТТР-пакетов на основе пост-анализа запросов к интернет-ресурсу и устройство фильтрации для его реализации» (авторы: Будников К.И., Курочкин А.В.);
 - На изобретение «Широкодиапазонный нанопозиционер сфокусированного электромагнитного излучения» (авторы: Атутов С.Н., Плеханов А.И., Сорокин В.А., Кучьянов А.С.);
 - На изобретение «Способ мониторинга сердечной деятельности пациента» (авторы: Бесмельцев В.П., Катасонов Д.Н., Слуев В.А., Морозов В.В., Шевела А.И.);
 - На изобретение «Способ контроля погрешности изготовления дифракционных оптических элементов (ДОЭ)» (авторы: Полещук А.Г., Шиманский Р.В.);
 - На изобретение «Способ калибровки углового датчика» (авторы: Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Измайлов К.О., Максимов А.С.);

- На изобретение «Лазер с модуляцией добротности резонатора и синхронизацией мод» (авторы: Донин В.И., Трубецкой А.В., Яковин Д.В., Грибанов А.В., Затолокин В.Н.);
- На изобретение «Способ мониторинга малых примесей ацетона в выдыхаемом воздухе пациента и устройство для его реализации» (авторы: Атутов С.Н., Плеханов А.И., Суровцев Н.В.);
- На полезную модель «Высокоапертурный объектив для фокусировки оптического излучения» (авторы: Полещук А.Г., Седухин А.Г.);
- На полезную модель «Фотоэлектрическое устройство для слежения за Солнцем» (авторы: Котов В.Н., Лубков А.А., Власов С.В., Перебейнос С.В.);
- На изобретение «Многоканальный конфокальный микроскоп (варианты)» (авторы: Бессмельцев В.П., Терентьев В.С.). *Получено положительное решение о выдаче патента 21.12.2015 г.*
- На изобретение «Способ изготовления волоконных брэгговских решеток в нефоточувствительных волоконных световодах» (авторы: Достовалов А.В., Бабин С.А., Вольф А.А., Парыгин А.В., Распопин К.С.);
- На программу ЭВМ «Deposition Control Simulator: программа моделирования работы системы контроля» (авторы Семенов З.В.).

Поддерживается в действии 62 патента, зарегистрировано 31 программа для ЭВМ, 1 база данных, 2 товарных знака, оформлено 8 ноу-хау.

Заключено 3 договора о совместном патентовании.

В Институте работают Комиссия по охране результатов интеллектуальной деятельности и Комиссия по экспортному контролю и вопросам экспертизы.

В ФГАНУ «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти» (ФГАНУ ЦИТиС) для регистрации в государственном информационном фонде неопубликованных документов направлены:

Регистрационные карты по 9 темам НИР;

Отчеты:

Разработка и исследование методов генерации и детектирования широкополосного терагерцового излучения на основе преобразования фемтосекундных лазерных импульсов в растровых структурах на объемных и многослойных полупроводниках (№ гос. рег. 01201261917), рук. Потатуркин О.И. (заключительный, инв. № 215082660001);

Разработка принципов и информационно-вычислительных технологий обработки и интерпретации мультиспектральных спутниковых изображений высокого и сверхвысокого пространственного разрешения (для наук о Земле, экологии и природопользования) (№ гос. рег. 01201261916), рук. Потатуркин О.И. (заключительный, инв. № 215082460005).

Зарегистрированы информационные карты реферативно-библиографических сведений (ИКРБС) по отчетам:

- Проект 2.1 (Программа 2 Президиума РАН). Влияние состава среды кристаллизации на процессы роста и свойства кристаллов алмаза (№ гос. рег. 01201257318), рук. Малиновский В.К.;
- Проект II.5.3 (Программы фундаментальных исследований ОФН РАН). Синтез и исследование микро- и нанокристаллической сегнетоэлектрической керамики на основе титаната бария (№ гос. рег. 01201257317), рук. Малиновский В.К.;
- Проект 128 (Междисциплинарные интеграционные проекты СО РАН). Системы с отрицательным коэффициентом преломления и оптическим резонансным туннелированием для сверхбыстрого управления ТГц и ИК излучением (№ гос. рег. 01201372172), рук. Суровцев Н.В.;
- Проект 31 (Междисциплинарные интеграционные проекты СО РАН). Экспериментальное моделирование минералообразующих процессов с участием углерода в литосферной мантии (№ гос. рег. 01201257316), рук. Суровцев Н.В.;
- Проект 108 (Междисциплинарные интеграционные проекты СО РАН). Нетрадиционные способы введения лекарственных веществ в организм и физические методы модифицирования их свойств (№ гос. рег. 01201257321), рук. Суровцев Н.В.;
- Проект 8.19 (Программа фундаментальных исследований Президиума РАН). Исследование новых фторидных и оксифторидных кристаллов и стекол (№ гос. рег. 01201257320), рук. Суровцев Н.В.;
- Проект 18 (Партнерские интеграционные проекты СО РАН). Стеклообразование и кристаллизация во фторидных и оксифторидных системах, формирование функциональных свойств кристаллов и стекол на их основе (№ гос. рег. 01201257319), рук. Суровцев Н.В.;
- Проект IV.35.1.6 (Фундаментальные научные исследования (ФНИ) государственных академий наук). Научные основы, системные решения и программно-аппаратные средства совместной обработки многоспектральных и пространственных данных для информационной поддержки мониторинга природных и технических систем (№ гос. рег. 01201366865), рук. Потатуркин О.И.;
- Проект II.8.3.4 (ФНИ государственных академий наук). Оптические методы исследования и формирования твердотельных наноструктур с целью создания компонентов оптоэлектронных систем (№ гос. рег. 01201366866), рук. Потатуркин О.И.

5.7. ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В 2015 г. продолжена работа по заключению договоров о намерениях сотрудничества в области коммерциализации с предприятиями, занимающимися внедрением и производством продукции на базе разработок Института. Заключены договоры с двумя хозяйствующими организациями.

Проводились встречи с руководством наноцентра «Сигма. Новосибирск» на предмет сотрудничества и внедрения разработок Института в области нанотехнологий. Также была проведена встреча с представителями НГТУ, ООО "ВИКРАМ", АО «НИКСИТ» по вопросу создания инжиниринговой компании для разработки различных систем адаптивного и умного освещения.

Ведется работа по экспертизе публикаций и материалов, направляемых за рубеж для открытого представления на предмет соответствия проводимых публикуемых материалов перечням контрольных списков. Продолжена работа по заключённым ранее международным контрактам.

Сотрудники Инновационного отдела повышают свою квалификацию путем участия в различных семинарах и конференциях по патентной и инновационной тематике.

На конкурс инновационных проектов в рамках XXI Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции (Hi-Tech)» (*Санкт-Петербург*) было представлено 4 проекта: «Оптоволоконные лазеры видимого диапазона для применений в аналитическом биомедицинском оборудовании», «Базовая платформа для создания технологического оборудования фотоники субмикронного разрешения» – в номинации «Приборостроение, отечественная элементная база»; «Система для измерений и контроля качества изделий микро- оптики, механики и электроники» – в номинации «Лучший молодежный инновационный проект»; «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами – в номинации «Информационные технологии, образовательные технологии».

Все работы отмечены наградами.

5.8. УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКАХ. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННО-РЕКЛАМНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

На **Постоянно действующей экспозиции Выставочного центра СО РАН** (*г. Новосибирск*) представлены следующие разработки Института:

- Оптоволоконные лазерные системы (планшет) – *лаб. 17*;
- Широкополосная терагерцовая спектроскопия (планшет) – *лаб. 15*;
- Приборы для исследования полупроводниковых структур (планшет) – *тем. группа 10-1*;

- Дифракционные оптические элементы: синтез и применение (планшет, коллекция образцов) – *лаб. 06*;
- Нанометрология асферических поверхностей (планшет) – *лаб. 06*;
- Лазерные технологии и оборудование для микрообработки и промышленной маркировки (планшет, образцы) – *лаб. 07*;
- Исследовательский автоматизированный высокотемпературный пресс (планшет) – *тем. группа 15-3*;
- Автоматизированная система диспетчерского управления (на примере управления движением поездов метрополитена) (планшет) – *лаб. 09*.

Идет подготовка материалов для обновления экспозиции.

На Постоянно действующей экспозиции законченных разработок СО РАН **двойного назначения** в Малом зале Выставочного центра СО РАН (*г. Новосибирск*) представлены:

- Мобильные устройства контроля подлинности документов, удостоверяющих личность – *лаб. 07*;
- Устройства микроэлектромеханики (MEMS) – *лаб. 08*.

В зале **хозяйственных организаций, созданных на основе разработок институтов СО РАН** от ИАиЭ СО РАН и соответствующих хозяйственных организаций представлены: ООО «Инверсия-Сенсор», ООО «Инверсия-Файбер», ЗАО «СофтЛаб-НСК», ООО «Корвет», ООО «СибСенсор», ООО «Торнадо МС».

В 2015 г. Институт принимал участие в следующих выставках:

- XXI Международная выставка-конгресс «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech) в составе XI Петербургской Технической Ярмарки (*Санкт-Петербург, Россия*): «Разработка сверхразрешающих оптических систем измерения и контроля в микро- и нанотехнологии объектов микроэлектроники микроэлектромеханики защитных изображений», «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами», «Оптоволоконные лазеры видимого ИК диапазона», «Базовая платформа для создания технологического оборудования фотоники субмикронного разрешения» «Дифракционные оптические элементы - синтез и применение»;
- X Международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. мир лазеров и оптики – 2015» (*Москва, Россия*): «Дифракционные элементы – синтез и применение», «Интерферометр ФТИ-100РС», «Контроль асферических поверхностей», «Волоконные лазеры видимого и ИК диапазона»;
- XIII специализированная выставка «Мир Биотехнологий 2015» (*Москва, Россия*): «Трехмерная система трассировки лабораторных животных EthoStudio (совместная разработка с ИЦиГ СО РАН)», «Оптоволоконные лазеры видимого ИК диапазона», «Новые типы по-

верхностных плазмонных нанолазеров с оптической накачкой – спазеры»;

- Международный военно-технический форум «АРМИЯ – 2015» (г. Кубинка, Московская обл., Россия): «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами», «Базовая платформа для создания технологического оборудования фотоники субмикронного разрешения», «Лазерные фемтотехнологии и системы точной микрообработки прозрачных, высокотемпературных и хрупких материалов», «Технологии виртуальной реальности в тренажёрных и обучающих системах», «Информационный комплекс дистанционного зондирования земли», «Сетецентрические системы группового управления автономными боевыми роботами», «Неохлаждаемый тепловизионный прибор наблюдения»;
- Специализированная выставка в рамках Международного форума технологического развития «ТЕХНОПРОМ–2015» (г. Новосибирск, Россия): «Базовая платформа для создания технологического оборудования фотоники субмикронного разрешения», «Эталонные синтезированные голограммы (СГ) и дифракционные элементы для нанометрического контроля сферических и асферических поверхностей», «Оборудование для бесприборных тест-систем диагностики заболеваний (Многопрофильная серодиагностика инфекционных заболеваний)»;
- Международная специализированная выставка «Импортозамещение» (г. Красногорск, Московская обл., Россия): «Дифракционные оптические элементы: синтез и применение», «Волоконные лазеры видимого и ИК диапазона», «Широкополосная терагерцовая спектроскопия», «Исследовательский автоматизированный высокотемпературный пресс», «Спектрометры нового поколения для атомно-эмиссионного анализа», «Лазерные фемтотехнологии и системы точной микрообработки прозрачных, высокотемпературных и хрупких материалов»;
- «Автоматизация. Безопасность. Связь» в рамках Форума специализированных выставок «Энергетика ДВ региона – 2015» (г. Хабаровск, Россия) в составе делегации мэрии г. Новосибирска: «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами», «Лазерные фемтотехнологии и системы точной микрообработки прозрачных, высокотемпературных и хрупких материалов», «Технологии виртуальной реальности в тренажёрных и обучающих системах», «Программно-алгоритмический комплекс дистанционного зондирования земли», «Спектрометры нового поколения для атомно-эмиссионного анализа»;
- Международная выставка высоких технологий и техники для Арктики, Сибири и Дальнего Востока «ВГТА-Омск–2015» (г. Омск, Россия) в составе делегации мэрии г. Новосибирска: «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами», «Лазерные фемтотехнологии и системы точной микрообработки прозрачных, высокотемпературных и хрупких материалов», «Технологии виртуаль-

ной реальности в тренажёрных и обучающих системах», «Программно-алгоритмический комплекс дистанционного зондирования земли»;

- Первая Российско-Белорусская международная промышленная выставка (*г. Минск, Беларусь*): «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами», «Лазерные фемтотехнологии и системы точной микрообработки прозрачных, высокотемпературных и хрупких материалов (в т. ч. системы для измерений и контроля качества изделий микро- оптики, механики и электроники)», «Программно-алгоритмический комплекс дистанционного зондирования земли», «Базовая платформа для создания измерительного и технологического оборудования фотоники субмикронного разрешения»;
- Постоянно действующая выставка инновационных разработок СО РАН в Китайско-российском технопарке г. Чанчуня (*г. Чанчунь провинции Цилинь, КНР*): «Дифракционные оптические элементы – синтез и применение», «Лазерные технологии и оборудование для микрообработки и промышленной маркировки», «Оптоволоконные лазерные системы», «Программно-алгоритмический комплекс анализа данных дистанционного зондирования земли», «Баллистический абсолютный гравиметр ГАБЛ» (совместно с ООО «ГравиКо»), «Мощные ионные лазеры».

Институтом периодически (6 раз в год) издается общероссийский научный журнал «Автометрия», который переводится и переиздается в США под названием "Optoelectronics, Instrumentation, and Data Processing".

Издан Годовой отчет о деятельности Института в 2014 г. (189 с., тираж 100 экз.).

Изготовлены 15 новых рекламных баннеров и проспектов о разработках Института и 17 оригинал-макетов рекламных баннеров для Центра коллективного пользования.

Подготовлены и опубликованы рекламно-информационные материалы об Институте и ряде инновационных разработок:

- в каталоге научно-технических достижений «Инновации» 2015–2016, с. 146. Электронная версия каталога www.innovacii.nsk.ru;
- в каталоге «Научный потенциал Сибири», 2015, с. 46–47.

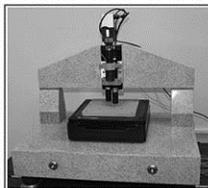
Постоянно ведется работа по обновлению информации на сайте Института <http://www.iae.nsk.su>.

СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МИКРО-ОПТИКИ, МЕХАНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

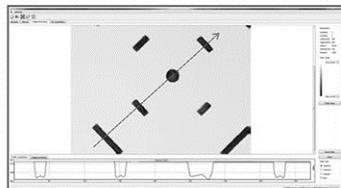
Система предназначена для автоматизации измерений и контроля качества производства изделий микро-оптики, механики и электроники. Область применения является измерение рельефа поверхности изделий, полученных в процессе 3D микроформообразования, например травления, лазерной микрообработки, напыления, литографии. Новизной разработанного решения является объединение в одном продукте, как программно-аппаратных средств для измерения профиля и 3D рельефа поверхности, так и специальных алгоритмов, обеспечивающих контроль качества микрообработки по результатам сравнения данных измерений с и исходной CAD-моделью.

Состав профилометрического модуля:

1. Модули линейного перемещения с погрешностями позиционирования менее 100 нм в объеме ($200 \times 200 \times 50 \text{ мм}^3$);
2. 3D конфокальные хроматические сенсоры CL4-MG35 (разрешение Z – 75 нм, XY – 4 мкм) и CL1-MG210 (разрешение Z – 5 нм, XY – 1.1 мкм);
3. Видеокамера с разрешением 10 Мп и 3 мкм в поле фокусировки;
4. Программное обеспечение "Profilometer".



Внешний вид устройства

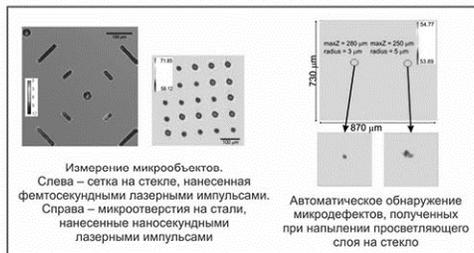


Пользовательский интерфейс ПО Profilometer

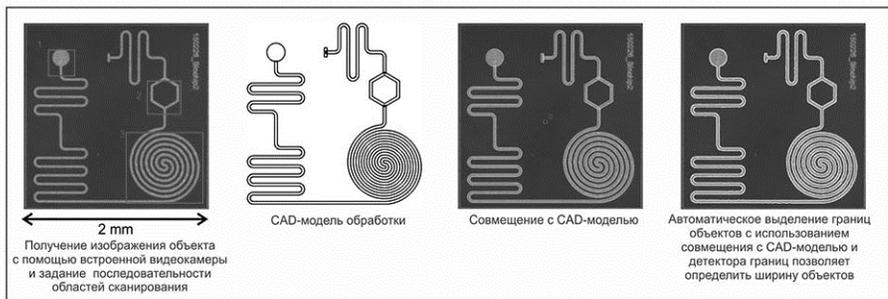
Функциональные особенности:

1. Интеграция в одном продукте средств измерения, обработки данных и контроля качества по данным CAD-модели.
2. Применение конфокального хроматического сенсора не требует вертикального сканирования образца и обеспечивают разрешение по Z выше 10 нм, что превышает разрешение стандартных оптических микроскопов.
3. Использование поточечного метода измерения и прецизионных модулей линейного перемещения позволяет избежать ошибок при восстановлении 3D-модели, присущих другим оптическим микроскопам, таких как сферические аберрации и дисторсия.
4. Встроенная автофокусировка.
5. Модуль позволяет сканировать поверхности высококонтрастных объектов (коэффициент отражения которых локально изменяется более чем на 3 порядка) за счёт серии сканирований при различных экспозициях.
6. Возможность формирования заданий для последовательного сканирования и сшивки нескольких изображений и профилей объекта в одну 3D модель.
7. Наличие высокоточных алгоритмов обработки пространственных данных (коррекции ошибок, фильтрации, компенсации наклона).
8. Наличие высокоточных алгоритмов для сравнения данных измерений с CAD-моделью – автоматическое совмещение с CAD-моделью, поиск границ объектов, определение размеров и формы структурных элементов объекта и дефектов обработки.

Измерение профиля и поиск дефектов обработки



Контроль качества микроформообразования



Институт автоматизации и электрометрии СО РАН <http://www.iae.nsk.su>
тел. +7(383) 330-83-00, 333-24-91, факс: +7(383) 330-88-78
e-mail: innovation@iae.nsk.su; bessmelt@iae.nsk.su

БАЗОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ФОТОНИКИ СУБМИКРОННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Базовая платформа представляет собой набор унифицированных узлов, используемых для создания различных технологических комплексов: лазерных генераторов изображений, работающих в полярной системе координат и используемых для синтеза элементов фотоники, различного типа контрольно-измерительных машин.

В 2012–2014 гг. на базе этой платформы была создана для ОАО «НПП «Геофизика-Космос» (г. Москва) углоизмерительная машина АЭ.1686 ПМ, предназначенная для измерения и определения угловых параметров рабочих образцов и фотошаблонов оптических лимбов, круговых шкал, растров и многоразрядных кодовых дисков в автоматическом режиме.



Основные технические характеристики базовой платформы

Разрешающая способность системы линейных перемещений:	
- с растровым датчиком, нм	1.0
- с интерферометрическим датчиком, нм	0.1
Диапазон линейных перемещений, мм	125
Габаритные размеры, мм	1373×800
Разрешающая способность системы угловых перемещений, угл. с	0.1
Масса, кг	940



Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1
тел. +7(383) 330-83-00; +7(383) 330-51-34; факс +7(383) 330-88-78
<http://www.iae.nsk.su>; innovation@iae.nsk.su; kiryarov@iae.nsk.su

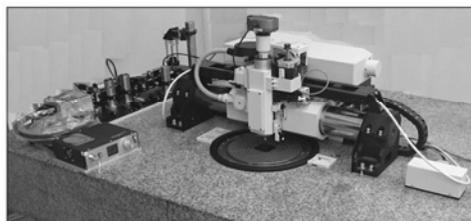
ДВУХКАНАЛЬНАЯ КРУГОВАЯ ЛАЗЕРНАЯ ЗАПИСЫВАЮЩАЯ СИСТЕМА (КЛЗС)

- ◆ Изготовление высокоточных бинарных синтезированных голограмм, многоуровневых дифракционных элементов, угловых шкал и лимбов.
- ◆ Изготовление компонентов для оптического приборостроения, оптоэлектроники, микромеханики, офтальмологии.

Принцип работы

КЛЗС использует сфокусированный лазерный пучок для экспонирования светочувствительного материала путем линейного перемещения фокусирующего микрообъектива вдоль радиуса вращающейся подложки.

КЛЗС состоит из аэростатического узла вращения с угловым датчиком, системы радиального перемещения с лазерным интерферометром, двухлазерного оптического канала.



Базовые технологии записи

- Прямая запись по хрому для фотошаблонов и амплитудных ДОЭ

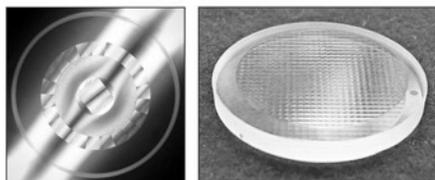


- Прямая запись по фоторезисту для изготовления многоуровневых ДОЭ и микрооптики



Технические характеристики

Диаметр подложек	20.. 285 мм
Точность по радиальной координате	50 нм
Точность по угловой координате	1 угл. сек.
Скорость вращения	300–600 об/мин
Толщина подложек	1–25 мм
Длина волны 1	532 нм
Длина волны 2	405 нм
Пространственное разрешение	до 1000 лин/мм



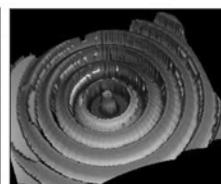
Комбинированный ДОЭ Микролинзовый растр

Основные характеристики

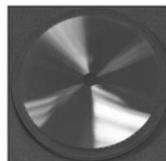
- Большое поле записи
- Высокая точность
- Высокая скорость записи
- Простота и дешевизна технологий записи
- Совмещение в одной системе возможности записи по фото- и термочувствительным материалам.



Многозарядный кодовый диск



Дифракционный аксикон на сферической подложке



Синтезированная голограмма.
Диаметр 230 мм

КЛЗС создана по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации «Создание гибкого производства оптических и оптико-электронных приборов нового поколения на основе лазерной трехмерной микрообработки оптических компонентов и нанесение многослойных диэлектрических покрытий со слоями нанометровой толщины», шифр 2012-218-03-004.



Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Акад. Коптюга, 1,
тел.: (383) 330-83-00, 3333-091, факс: (383) 330-88-78
www.iae.nsk.su poleshchuk.a.g@iae.nsk.su

КТИ Научного приборостроения СО РАН
630058, г. Новосибирск, ул. Русская, 41
тел.: (383) 306-62-08
<http://www.tdlsie.nsc.ru>





Институт автоматике и электрометрии СО РАН



ШАЛАГИН
Анатолий
Михайлович
директор
академии РАН

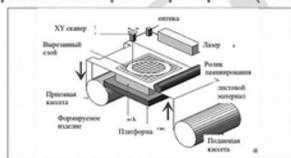
Направление деятельности: актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе физические процессы в газах и конденсированных средах, индуцированные излучением, нелинейные явления при взаимодействии излучения со структурированными материалами; фундаментальные основы, а также прикладные разработки в области лазерных и оптических технологий; архитектуру, системные решения, математические модели и программно-алгоритмическое обеспечение информационно-вычислительных комплексов восприятия, анализа, отображения информации и систем управления сложными динамическими процессами. Основан в 1957 году.

Разработка аппаратно-программных систем трехмерного послойного формообразования прототипов и изделий на основе лазерных аддитивных порошковых технологий

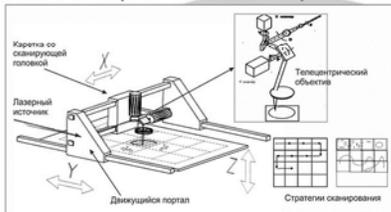
Работы ИАиЭ СО РАН по лазерным технологиям 3D синтеза и прототипирования

- ◆ Лазерный послойный синтез методом фотополимеризации.
- ◆ Послойный синтез из порошковых и листовых материалов.
- ◆ Запись методом термолрипекания/термопереноса.
- ◆ Технологии многоуровневой записи информации.
- ◆ Специальные методы микрообработки.
- ◆ Формат поля записи 100 мкм – 1 м, разрешение 100 нм – 25 мкм.
- ◆ Скорость вывода данных – до 1 Гб/с (0.1–10) м/с.
- ◆ Лазеры 10 мВт – 400 Вт.

Метод послойного «склеивания» листового материала с лазерным раскроем (LOM).



Комплементарные системы сканирования



Модули сканирования
высокого разрешения



Блок двухкоординатной развертки сфокусированного лазерного луча – совокупность двух зеркальных сканеров, объектива, драйверов сканера и интеллектуального контроллера на основе DSP процессора.
Адресуемость – 32000 позиции по XY, режим растровый, векторный.

Лазерная технология аддитивного формирования проводящих покрытий

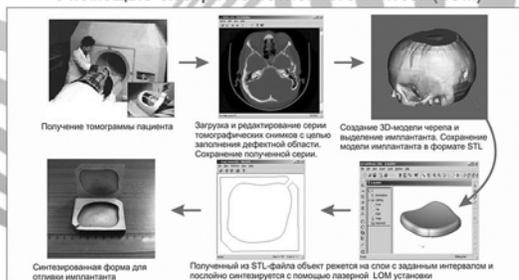
Основные преимущества:

- ◆ «Медные» изображения на разных подложках (бумага, дерево, камень, пластмасса)
- ◆ Безотходное изготовление проводящих структур

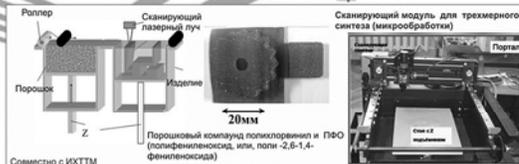
Чувствительность 0,1–1 Дж/см²
Разрешение 4000 пикселей
Лазеры: CO₂, ультрафиолет

Совместно с ИХТТМ СО РАН

Технология изготовления челюстно-лицевых имплантатов с помощью лазерного послойного синтеза (LOM)



Послойное спекание порошков



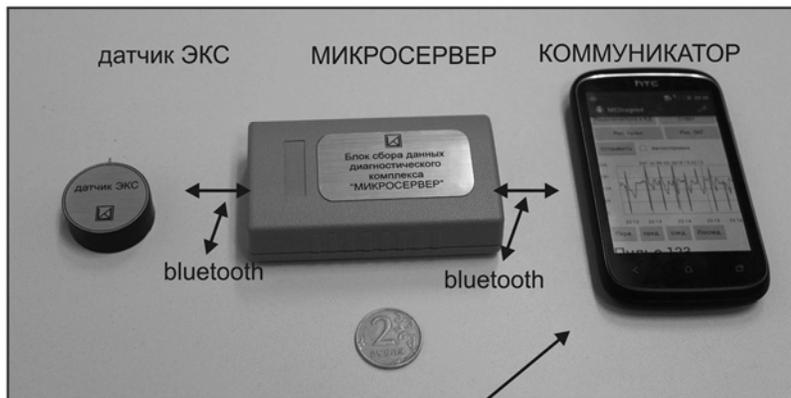
Прецизионное лазерное оборудование на основе комплементарных систем сканирования для микрообработки и аддитивных технологий

На основе исследований методов управления пространственным положением, размерами, энергетическими характеристиками сфокусированных лазерных пучков с мощностями в диапазоне 10–300 Вт разработаны технологии и изготовлено оборудование для и объемного синтеза и размерной микрообработки различных материалов, обеспечивающее высокие скорости трехмерной обработки, при дифракционном размере записывающего пятна и больших форматах записи.

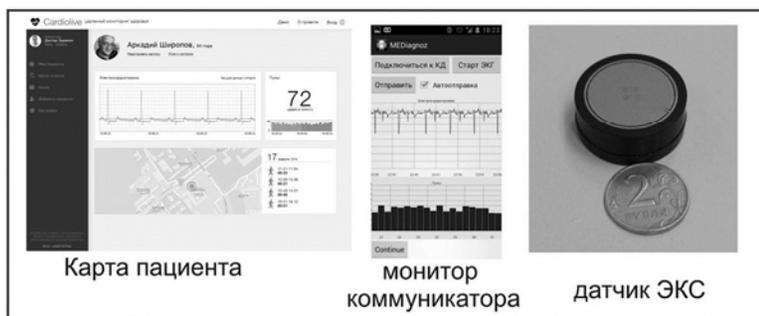
Широкий спектр обрабатываемых материалов (металлы, полимеры, керамика, стекло). Микронная точность и субмикронное разрешение по всем координатам. Высокая скорость обработки (скорость движения лазерного луча более 3м/с). Низкие эксплуатационные расходы по обслуживанию (срок жизни современных лазеров более 10000 часов).



Институт автоматики и электрометрии СО РАН
СИСТЕМА МОБИЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ДАТЧИКОВ И БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



медицинский сервер



Институт автоматики и электрометрии СО РАН www.iae.nsk.su
630090, г. Новосибирск, пр. Акад. Коптюга, 1, тел.: (383) 330-83-00, (383) 333-24-91 факс: (383) 330-88-78
E-mail: innovation@iae.nsk.su, bessmelt@iae.nsk.su

НОВЫЕ ТИПЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОННЫХ НАНОЛАЗЕРОВ С ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ – СПАЗЕРЫ

Новые гибридные наноплазмонные материалы на основе наночастиц золота и органических красителей

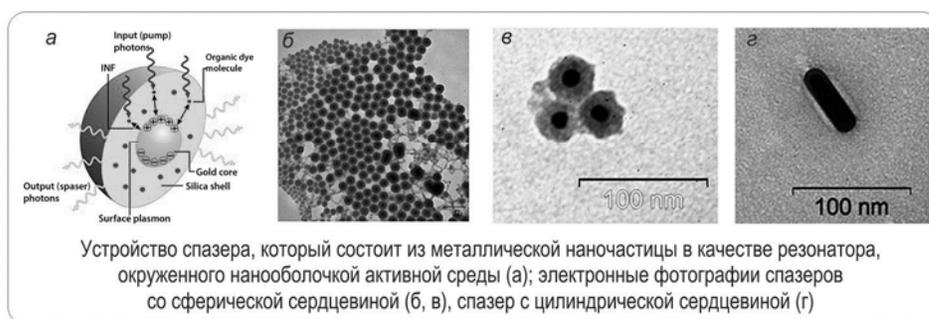
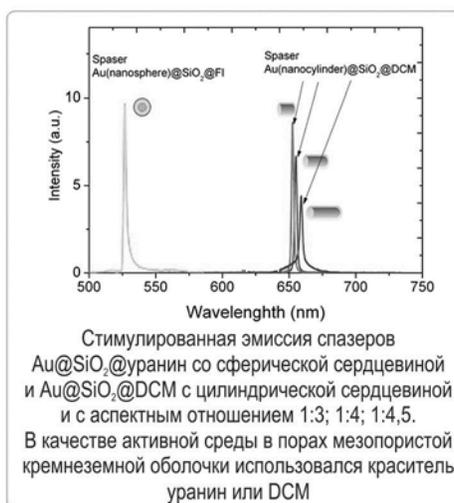
Спазеры имеют: малый размер, низкую токсичность для живых клеток, возможность присоединения биомолекул для молекулярной диагностики, яркость в узком спектральном диапазоне намного (>100 раз) превосходящую яркость существующих флуоресцентных меток (красителей и квантовых точек).

Спазеры исполнены в виде суспензии гибридных наночастиц с золотой сферической сердцевинкой диаметром от 10 до 25 нм, кремнеземной оболочкой от 10 до 40 нм либо с золотой сердцевинкой из наноцилиндров диаметром 10-15 нм и аспектным отношением от 1:3 до 1:5 в кремнеземной оболочке. Плотность наночастиц зависит от размера сердцевинки и варьируется от 10^{12} до 10^{13} см⁻³.

Спазеры реализованы в

- 1) в физрастворе;
- 2) в фосфатном растворе;
- 3) с активной средой из мезопористой кремнеземной оболочки, пропитанной
 - а) уранином,
 - б) флуоресцеином,
 - в) Oregon Green 488с длиной волны генерации 528 нм.

Варьирование формы наночастицы от сферической до наноцилиндров дают возможность получить перестраиваемую спазерную генерацию с продвижением в красную и инфракрасную область спектра, где биоткани более прозрачны для излучения.



Совместная разработка Института автоматики и электрометрии СО РАН, Института неорганической химии СО РАН, Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН



Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 1
тел. +7(383) 333-31-74; +7(383) 330-83-00; факс +7(383) 330-88-78
<http://www.iae.nsk.su>; innovation@iae.nsk.su

ТРЕХМЕРНАЯ СИСТЕМА ТРАССИРОВКИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ REALTIME 3D ANIMAL TRACKING SYSTEM



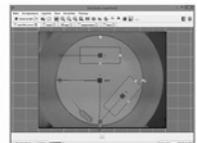
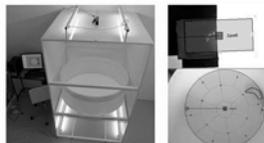
Применение Application

- Проведение доклинических исследований фармакологических препаратов;
- Фенотипирование животных.
- Conducting preclinical studies of pharmacological agents;
- Phenotyping animals.

Состав комплекса System components

- Стенды;
- Арены;
- Сенсор активного стереозрения;
- Программное обеспечение.

- Stands;
- Arenas;
- Active stereovision system;
- Software.



Поддерживаемые эксперименты Supported tests

Открытое поле Open field	Водный лабиринт Морриса Morris maze	Крестообразный лабиринт Plus maze	Свет/темнота Dark/Light box	Новый объект Novel object	Принудительное плавание Forced swim test

Программное обеспечение Software solution

<ul style="list-style-type: none"> • Удобный пользовательский интерфейс; • Запись, воспроизведение и обработка 3D и видео данных. • User friendly interface; • Record/Playback/Analysis of 3D and video data. 		<ul style="list-style-type: none"> • Использование локальных баз данных; • Настраиваемые протоколы тестирования; • Экспорт результатов в Excel, Statistica. • Local database; • Customizable tests protocols; • Export in Excel, Statistica. 	
---	--	--	--

Особенности Features

<ul style="list-style-type: none"> • Трассировка животного любого цвета на любом фоне • Trace animal of any color on any background 	<ul style="list-style-type: none"> • Наблюдение за животным в домашней клетке • Observe animal in a home cage 	<ul style="list-style-type: none"> • Обнаружение животного в полной темноте • Detect an animal in complete darkness 	<ul style="list-style-type: none"> • Измерение параметров в физических единицах измерения • Measure parameters in physical units



Институт автоматизации и электротехники СО РАН
тел. +7(383) 330-83-00, факс: +7(383) 330-88-78;
<http://www.iae.nsk.su> e-mail: innovation@iae.nsk.su

www.ethostudio.com
тел. +7 923 126 1225
kulikov.victor@aisoftpro.com



5.9. НАГРАДЫ

В 2015 году Институтом и его сотрудниками получены следующие награды:

Премия Правительства Российской Федерации 2014 года в области науки и техники присуждена заместителю директора д.т.н. *Потатуркину О.И.* и заведующему лабораторией к.т.н. *Борзову С.М.* (в составе авторского коллектива ИАиЭ СО РАН, ИТ СО РАН, ООО «Сибирский центр транспортных технологий», КТИ НП СО РАН, СКБ «Гидротурбомаш») за разработку научных основ, создание и внедрение оптико-информационных методов, систем и технологий бесконтактной диагностики динамических процессов для повышения эффективности и безопасности в энергетике, промышленности и на транспорте.

Почетной грамотой Министерства образования, науки и инновационной политики Новосибирской области награжден заведующий лабораторией ИАиЭ СО РАН д.ф.-м.н. *Шапиро Д.А.* «За особые заслуги в изучении нелинейной спектроскопии плазмы и газов, физики лазеров, нелинейной и волоконной оптики, нанофотоники, многолетнюю плодотворную научную и преподавательскую деятельность».

Лауреатом престижной **региональной премии «Человек года – 2015»**, учрежденной журналом «Деловой квартал», в номинации «Человек года в сфере высоких технологий» стал старший научный сотрудник Института, генеральный директор ООО «Модульные Системы Торнадо» к.т.н. Сердюков О.В. Премия присуждена за запуск в серийное производство первого отечественного промышленного компьютера IPC Gridex.

Диплом победителя программы «Участник молодежно-инновационного конкурса» («УМНИК») выдан Фондом содействию развития малых форм предприятий в научно-технической сфере *Чубакову В.П.* за разработку аппаратного комплекса проведения биомедицинской диагностики методом цифровой ПЦР.

Чубаковым В.П. получено также **Благодарственное письмо** администрации Советского района г. Новосибирска за активное участие в научно-исследовательской работе, предложения по внедрению инновационных проектов на предприятиях и в организациях города Новосибирска.

Д.т.н. *Кирьянов В.П.* награжден **медалью Академии инженерных наук им. Прохорова** «За вклад в развитие инженерных наук».

Четыре проекта Института стали лауреатами Конкурса инновационных проектов, проходившего в рамках XXI Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech) (Санкт-Петербург) и награждены:

Золотой медалью и Дипломом I степени – за проект «Оптоволоконные лазеры видимого диапазона для применений в аналитическом биомедицинском оборудовании» (*Лаборатория волоконной оптики*);

Серебряными медалями и Дипломами II степени – за проекты «Базовая платформа для создания технологического оборудования фото-

ники субмикронного разрешения» (*Лаборатория интегрированных информационно-управляющих систем*) и «Система для измерений и контроля качества изделий микро- оптики, механики и электроники» (*Лаборатория лазерной графики*);

Дипломом – за проект «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами» (*Лаборатория нечетких технологий*).

В 2015 году Институтом также получены:

- **Диплом** Лауреата городского дня науки в номинации «Лидер инноваций для городского хозяйства и социальной сферы города Новосибирска в академической науке»;
- **Свидетельство Правительства Новосибирской области** «Надежный работодатель» I степени - за системность в достижении условий эффективного труда работников и успехи в производственной деятельности;
- **Диплом мэрии г. Новосибирска** за III место в городском конкурсе на соискание звания «Предприятие высокой социальной ответственности» по итогам работы за 2014 г. (*по отрасли «Наука и научное обслуживание», Академическая наука*);
- **Благодарственное письмо** мэра г. Новосибирска за достигнутые трудовые успехи и большой вклад в социально-экономическое развитие Советского района города Новосибирска в 2014 году;
- **Благодарственное письмо администрации Советского района г. Новосибирска** за активное участие в новогоднем оформлении Советского района, творческий подход к делу, оригинальность, создание праздничной атмосферы для жителей и гостей района в предновогодние дни и новогодние праздники 2015 года;
- **Диплом** Первой Российско-Белорусской международной промышленной выставки «За вклад в развитие Российско-Белорусских экономических отношений и участие в Первой международной промышленной выставке “EXPO-RUSSIABELARUS 2015” и Минском бизнес-форуме» (*г. Минск, Республика Беларусь*);
- **Диплом XXI Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)»** (*Санкт-Петербург*) – «за вклад в развитие научно-промышленного комплекса России»;
- **Диплом** Международного военно-технического форума «АРМИЯ – 2015»» (*г. Кубинка, Московской обл., Россия*);
- **Диплом** Международной специализированной выставки «Импортозамещение» (*Москва, Россия*);
- **Сертификат** Международной выставки высоких технологий и техники для Арктики, Сибири и Дальнего Востока «ВТТА-Омск–2015» (*г. Омск, Россия*);

- **Диплом X** международной специализированной выставки лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики – 2015» (*Москва, Россия*);
- **Диплом XIII** специализированной выставки «Мир Биотехнологий 2015» (*Москва, Россия*);
- **Благодарственное письмо** Международного форума технологического развития «ТЕХНОПРОМ–2015»;
- **Свидетельство** Хабаровской Международной Ярмарки (Форум специализированных выставок «Энергетика ДВ региона – 2015»).

6. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН в 2015 г.

В таблице приведены сведения о количестве статей, опубликованных сотрудниками Института в зарубежных и российских журналах и импакт-факторы этих журналов.

Научный журнал (его импакт-фактор)	Число статей	Научный журнал (его импакт-фактор)	Число статей
ЗАРУБЕЖНЫЕ		ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ	
Nature Communications (11.470)	2	Письма в ЖЭТФ (1.301)	4
Advances in Optics and Photonics (10.11)	1	ЖЭТФ (1.069)	2
Laser & Photon. Rev. (8.008)	1	Квантовая электроника (0.941)	7
International Journal of Natural Sciences Research (5.580)	1	Автометрия (0.767)	15
Scientific Reports (5.578)	2	Физика твердого тела (0.763)	1
J. of Physical Chemistry C (4.772)	1	Экспериментальная и клиническая фармакология (0.515)	1
Biophysical Journal (3.972)	1	Оптика и спектроскопия (0.456)	4
Phys. Rev. B (3.736)	1	Приборы и техника эксперимента (0.442)	1
New Journal of Physics (3.558)	1	Гироскопия и навигация (0.411)	1
Optics Express (3.488)	9	Оптический журнал (0.363)	1
Journal of Physical Chemistry B (3.302)	1	Аналитика и контроль (0.349)	1
Applied Physics Letters (3.302)	1	Онтогенез (0.337)	1
J. of Lightwave Technology (2.965)	1	Заводская лаборатория. Диагностика материалов (0.315)	13
Ceramics Int. (2.540)	1	Медицинская техника (0.307)	1
Opt. Letters (3.292)	4	Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии (0.302)	3
Cytometry A (2.928)	1	Цифровая обработка сигналов (0.294)	2
Optical materials (2.844)	1	Вавиловский журнал генетики и селекции (0.281)	2
Physical Review A (2.808)	1	Компьютерная оптика (0.271)	1
Journal of Raman Spectroscopy (2.671)	1	Известия вузов. Физика (0.233)	2
Laser Physics Letters (2.458)	3	Известия Волгоградского гос. техн. ун-та (0.216)	1

J. Appl. Phys (2.183)	1	Датчики и системы (0.201)	1
IEEE Transactions on terahertz science and technology (2.177)	1	Перспективы науки (0.193)	1
Physics of Plasmas (2.140)	1	Известия Алтайского гос. ун-та (0.125)	1
Journal of Solid State Chemistry (2.133)	1	Пилотируемые полеты в космос (0.116)	1
EPL (2.095)	1	Другие отечественные журналы	36
JOSA B (1.970)	2		
Applied Optics (1.784)	1		
Journal of Non-Crystalline Solids (1.707)	1		
Journal of Crystal Growth (1.698)	1		
Optics Communications (1.449)	3		
European Physical Journal D (1.228)	1		
Int. J. of Automation, Control And Intelligent Systems (0.954)	1		
Journal of Plasma Physics (0.864)	1		
Science of Sintering (0.575)	1		
Acta Crystallographica Section C (0.326)	1		
Proc. SPIE (0.200)	5		
Другие зарубежные журналы	10		

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

МОНОГРАФИИ

1. In the book “Interferometers: Fundamentals, Methods and Applications” / K. Harmon Eds. - Nova Science Publishers, 2015.
Mikerin S.L., Ugozhaev V.D. A simple two-ray interferometer tuned by rotation. Ch. 7. P. 173–182.
Mikerin S.L., Ugozhaev V.D. Tuning of interference pattern period by rotation of interferometer itself. Ch. 8. P. 183–198.
Mikerin S.L., Ugozhaev V.D. A rotational tuning of convergence angle in a two-ray interferometer with fixed mirrors. Ch. 9. P. 199–210.

СТАТЬИ

Научные журналы

1. Абдуллина С.Р., Скворцов М.И., Немов И.Н. Исследование возможностей датчика деформаций на основе волоконного интерферометра Фабри-Перо из двух брэгговских решеток // Прикладная фотоника, 2015, т. 2, № 3. С. 276–286.
2. Амстиславский С.Я., Брусенцев Е.Ю., Окотруб К.А, Рожкова И.Н. Крриоконсервация эмбрионов и гамет для сохранения генетических ресурсов лабораторных животных // Онтогенез, 2015, т. 46, вып. 2. С. 67–81.
3. Ардюков Д.Г., Калиш Е.Н., Носов Д.А., Сизиков И.С., Смирнов М.Г., Стусь Ю.Ф., Тимофеев В.Ю., Кулинич Р.Г., Валитов М.Г. Измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести на мысе Шульца // Гироскопия и навигация, 2015, № 3 (90). С. 13–18.
4. Арнаутов Г.П., Калиш Е.Н., Носов Д.А., Сизиков И.С., Смирнов М.Г., Стусь Ю.Ф. Оценка последствий деформационных процессов в геологической среде юго-западной части Байкальского геодинамического полигона по данным гравиметрических и GPS наблюдений // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология», т. 2. Новосибирск: СГУГиТ, 2015. С. 8–13.
5. Атутов С.Н., Сорокин В.А. Экспериментальное исследование газоразрядного He-Ne лазера с $\lambda=1.52$ мкм для целей использования в телекоммуникационных системах // Автометрия, 2015, т. 51, № 6. С. 3–11.
6. Бабин С.А., Лабусов В.А., Селюнин Д.О., Дзюба А.А. Быстродействующие анализаторы МАЭС на основе линеек БЛПП-2000 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 108–113.

7. Багаев С.Н., Осипов В.В., Ватник С.М., Шитов В.А., Штейнберг И.Ш., Ведин И.А., Курбатов П.Ф., Лукьяшин К.Е., Максимов Р.Н., Соломонов В.И., Твердохлеб П.Е. Лазерные Re^{3+} : YAG-керамики: получение, оптические свойства и генерационные характеристики // Квантовая электроника, 2015, т. 45, № 5. С. 492–497.
8. Багинский И.Л., Косцов Э.Г., Соколов А.А. Новый подход к созданию электростатических микрогенераторов ударного типа // Автометрия, 2015, т. 51, № 3. С. 113–125.
9. Барамия Д.А., Дьяков М.С., Лаврентьев М.М. Разработка системы одновременной локализации и построения карты на основе данных с лидара и видеокамер // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, 2015, т. 13, вып. 1. С. 5–15.
10. Бартош В.С., Дьяков М.С., Кузиковский С.А., Брагин В.И. Развитие систем моделирования бортовых средств визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности российского сегмента МКС для подготовки космонавтов к выполнению геофизических исследований // Пилотируемые полеты в космос, Издательство ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (Звездный городок, Московская область), 2015, № 2(15). С. 43–48.
11. Беднаржевский С.С., Смирнов. Г.И. О плазмохимических технологиях альтернативной энергетики // Перспективы науки, 2015, № 4 (67). С. 101–105.
12. Белоусов Д.А., Полещук А.Г., Хомутов В.Н. Контроль пространственного распределения оптического излучения, прошедшего и отражённого от дифракционной структуры // Компьютерная оптика, 2015, т. 39, № 6. С. 678–686.
13. Белоусов Д.А., Полещук А.Г., Хомутов В.Н. Устройство для измерения индикатрисы рассеяния света структурированными поверхностями // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 2. С. 128–131.
14. Бенимецкий Ф.А., Плеханов А.И. Определение оптического коэффициента усиления коллоидного раствора спазеров // Вестник НГУ. Серия: Физика, 2015, т.10, вып.2. С. 5–9.
15. Бессмельцев В.П., Достовалов А.В. Лазерные технологии формирования сеток // Контенант, 2015, т. 14, № 1. С. 28–32.
16. Бессмельцев В.П., Катасонов Д.Н., Мазурок Б.С., Макеев И.В., Служев В.А., Морозов В.В., Шевела А.И. Мобильная система для автоматизированного дистанционного мониторинга сердечной деятельности // Медицинская техника, 2015, № 1. С. 5–8.
17. Бессмельцев В.П., Терентьев В.С. Расчет пространственного распределения флуоресценции толстого слоя флуорофора в многоканальном микроскопе // Оптический журнал, 2015, т. 82, № 7. С. 1–8.

18. Бокк Д.Н., Лабусов В.А., Зарубин И.А. Определение неметаллических включений в металлических сплавах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с искровым возбуждением // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 92–97.
19. Болдова С.С., Путьмаков А.Н., Лабусов В.А., Боровиков В.М., Селюнин Д.О., Бейзель Н.Ф., Гуськова Е.А. О создании прибора для одновременного многоэлементного атомно-абсорбционного спектрального анализа на основе спектрометра высокой дисперсии и источника непрерывного спектра // Там же. С. 148–153.
20. Борзов С.М., Потатуркин А.О. Потатуркин О.И. Обнаружение изменений территории застройки на основе применения структурных признаков спутниковых изображений // Автометрия, 2015, № 4. С. 3–11.
21. Борзов С.М., Потатуркин А.О. Спектрально-пространственная классификация типов подстилающей поверхности по гиперспектральным данным // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология», т. 2. С. 13–17.
22. Ващенко П.В., Болдова С.С., Лабусов В.А. Алгоритм обработки последовательностей атомно абсорбционных спектров с непрерывным источником излучения // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 153–157.
23. Верхогляд А.Г., Завьялова М.А., Касторский Л.Б., Качкин А.Е., Кокарев С.А., Корольков В.П., Моисеев О.Ю., Полещук А.Г. Круговая лазерная записывающая система для изготовления ДОО на сферических поверхностях // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 2. С. 62–68.
24. Верхогляд А.Г., Завьялова М.А., Кокарев С.А., Корольков В.П., Качкин А.Е. Круговая лазерная записывающая система для формирования фазовых и амплитудных микроструктур на сферических поверхностях // Датчики и системы, 2015, № 10. С. 45–52.
25. Вольф А.А., Парыгин А.В., Якушин С.С., Зюбин В.Е., Достовалов А.В. Поточечная запись длинных ВБР фемтосекундным излучением через полиимидную оболочку // Прикладная фотоника, 2015, т. 2, № 3. С. 264–275.
26. Вьюхин В.Н. Анализ частотной погрешности измерения емкости полупроводниковых структур // Автометрия, 2015, т. 51, № 5. С. 120–125.
27. Вьюхин В.Н. Анализатор импеданса полупроводниковых структур в диапазоне инфранизких частот // Приборы и техника эксперимента, 2015, № 6. С. 30–34.
28. Вяткин С.И., Павлов С.В., Романюк С.А. Оптимизации методов визуализация объемных данных для медицинских приложений // Interna-

- tional scientific-technical magazine «Measuring and Computing Devices in Technological Processes», 2015, т. 52, № 3. С. 150–152.
29. Вяткин С.И., Романюк С.А., Павлов С.В., Дудник А.А. Function-based GPU architecture // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Международный научно-технический журнал. Хмельницький національний університет, Хмельницький, ХНУ: 2015, № 1. С. 138–143.
 30. Вяткин С.И. Метод интерактивного моделирования функционально заданных объектов без предварительной триангуляции поверхности // Автометрия, 2015, т. 51, № 6. С. 70–78.
 31. Вяткин С.И. Визуализация фотореалистичного рельефа местности на основе текстуры-формы с использованием графических ускорителей // Программные системы и вычислительные методы, 2015, № 1. С. 89–107.
 32. Вяткин С.И., Романюк С.А., Савицкая Л.А., Стрельчук Т.А. Метод анизотропной фильтрации текстуры с использованием графических ускорителей // Вестник Херсонского национального технического университета, Херсон, ХНТУ, 2015, вып. 3 (54). С. 340–343.
 33. Гаранин В.Г., Неклюдов О.А., Петроченко Д.В., Семёнов З.В., Панкратов С.В., Ващенко П.В. Программное обеспечение атомно-эмиссионного спектрального анализа. Программа «Атом» // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 121–127.
 34. Горбунов О., Сугаванам Ш., Чуркин Д. Экспериментальное изучение редких событий в излучении волоконного лазера со случайно распределенной обратной связью // Фотон-экспресс. Спецвыпуск: Всероссийская конференция по волоконной оптике – ВКВО–2015 (г. Пермь, Россия, 7–9 октября 2015), № 6 (126). С. 63–64.
 35. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Храмцов И.Д., Радостев А.Х. Особенности построения систем для полиэкранного отображения распределенных мультимедийных данных // Вестник НГУ. Серия: Физика, 2015, т. 10, вып. 2. С. 91–98.
 36. Дашевский О.Ю., Нежевенко Е.С. Классификация гиперспектральных изображений с помощью нейронных сетей с бинарными и многоуровневыми нейронами // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология», т. 2. С. 62–66.
 37. Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Бережная В.Н., Лоскутов В.А., Орлова Н.А., Огнева Л.Н., Миронников Н.Г., Корольков В.П. Гибридный материал на основе силоксансодержащих тиольных и акрилатных олигомеров для записи дифракционных структур и его термооптические свойства // Известия Волгоградского гос. техн. ун-та, 2015, №7 (164). С. 82–85.
 38. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Бабин С.А. Оптимизация базовой экспозиции твердотельного детектора излучения в сцинтилляционном атом-

- но-эмиссионном спектральном анализе // Аналитика и контроль, 2015, т. 19, № 1. С. 6–12.
39. Донин В.И., Яковин Д.В., Грибанов А.В. Самоорганизация режима Q-switch с одновременной синхронизацией мод в диодно-накачиваемом Nd:YAG-лазере // Письма в ЖЭТФ, 2015, т. 101, вып. 12. С. 881–884.
 40. Донин В.И., Яковин Д.В., Грибанов А.В. Структура пикосекундных импульсов генерации в диодно-накачиваемом Nd:YAG-лазере с модуляцией добротности и синхронизацией мод // Квантовая электроника, 2015, т. 45, № 12. С. 1117–1120.
 41. Донцова Е.И., Лобач И.А., Достовалов А.В., Каблуков С.И. Исследование поляризационных свойств генерации второй гармоники в световодах с периодически наведенной квадратичной нелинейностью // Прикладная фотоника, 2015, т. 2, № 4. С. 342–357.
 42. Достовалов А.В., Вольф А.А., Бабин С.А. Запись длиннопериодных волоконных решеток ограниченным щелью пучком фемтосекундного излучения ($\lambda = 1026$ нм) // Квантовая электроника, 2015, т. 45, № 3. С. 235–239.
 43. Достовалов А.В., Вольф А.А., Якушин С.С., Парыгин А.В., Бабин С.А. Фемтосекундная поточечная запись длинных волоконных брэгговских решеток через полиимидное покрытие // Фотон-экспресс. Спецвыпуск: Всероссийская конференция по волоконной оптике – ВКВО–2015 (г. Пермь, Россия, 7–9 октября 2015), № 6 (126). С. 180–181.
 44. Дьякова И.И., Лелянов А.Б., Бабин С.А., Бессмельцев В.П., Достовалов А.В. Технология нанесения сеток методом прожигания лазером, заполнения запуском, нанесения рисунка на металлическом покрытии и исследование повреждений стеклянной подложки // Контенант, 2015, т. 14, № 1. С. 92–94.
 45. Заболотский А.А. Вынужденное комбинационное рассеяние в приближении однонаправленного распространения в среде с постоянными дипольными моментами // ЖЭТФ, 2015, т. 148, вып. 5 (1). С. 1–10.
 46. Заболотский А.А. Управление диссипативными солитонами в волноводной ловушке // Автометрия, 2015, т. 51, № 2. С. 61–70.
 47. Заксас Н.П., Веряскин А.Ф., Лабусов В.А. Аналитические зоны двухструйной дуговой плазмы: достоинства и ограничения // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 48–52.
 48. Зарубин И.А., Лабусов В.А., Бокк Д.Н. Оптимальная система освещения входной щели многоканальных спектрометров «Гранд» и «Экспресс» // Там же. С. 114–116.
 49. Злобина Е.А., Донцова Е.И., Каблуков С.И., Бабин С.А. Моделирование эффекта чистки пучка и оптимизация параметров ВКР-лазера на основе градиентного световода с прямой диодной накачкой // Прикладная фотоника, в. 2, № 1. Р. 31–43.
 50. Злобина Е.А., Каблуков С.И., Бабин С.А. Эффективный линейно-поляризованный волоконный ВКР-лазер со случайной обратной связью // Фотон-экспресс. Спецвыпуск: Всероссийская конференция по

волоконной оптике – ВКВО–2015 (г. Пермь, Россия, 7–9 октября 2015), № 6 (126). С. 74–75.

51. Злобина Е.А., Харенко Д.С., Каблуков С.И., Бабин С.А. Четырехволновое смещение диссипативных солитонов на основной и стоксовой частотах, генерируемых в одном волоконном лазере // Там же. С. 234–235.
52. Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Пивкин В.Я., Соболев М.А., Филиппов М.Н., Ян А.П. Робастное управление подвижными объектами в группе лидер-ведомые с использованием метода структурного анализа // Автометрия, 2015, т. 51, № 5. С. 82–91.
53. Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А. Управление угловым положением летательного аппарата // Там же. С. 35–41.
54. Иванов С.Д., Косцов Э.Г. Тепловые приемники неохлаждаемых многомерных тепловизионных матриц. Ч. I. Теплоизолированные элементы // Там же, № 6. С. 79–88.
55. Ильичёв Л.В., Чаповский П.Л. Декогеренция атомарного конденсата в двухъямной ловушке при оптическом зондировании // Письма в ЖЭТФ, 2015, т. 102, вып. 1. С. 18–22.
56. Кирьянов В.П., Зюбин В.Е., Кирьянов А.В., Лубков А.А., Максимов А.С. Моделирование инструментальной погрешности фотоэлектрических преобразователей комбинированного типа, обусловленной неточностью изготовления растра // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии, 2015, т. 13, вып. 2. С. 34–41.
57. Кузнецов С.А. Специализированные САПР – результат предметно-ориентированного подхода к разработке программных продуктов // Автоматизация и современные технологии, 2015, № 2. С. 14–19.
58. Куликов В.А. Автоматическая оценка параметров поведения животного в стандартных тестах для доклинического скрининга препаратов // Экспериментальная и клиническая фармакология, 2015, т. 78, № 999. С. 39–40.
59. Лабусов В.А. Приборы и комплексы компании «ВМК-Оптоэлектроника» для атомно-эмиссионного спектрального анализа. Современное состояние // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 12–21.
60. Ленкова Г.А. Высокoeffективный дифракционный поворотный фокусирующий элемент // Автометрия, 2015, т. 51, № 6. С. 32–40.
61. Ленкова Г.А. О возможности применения дифракционных и гармонических структур в конструкциях внутриглазных факичных линз // Оптика и спектроскопия, 2015, т. 118, № 4. С. 623–629.
62. Лихачев А.В., Шибаева Ю.А. Зависимость точности томографической реконструкции от корреляционной функции шума в проекционных данных // Цифровая обработка сигналов, 2015, № 2. С. 28–34.
63. Лихачев А.В. Применение условия Кавальери в задаче ROI-томографии // Автометрия, 2015, т. 51, № 4. С. 53–61.

64. Лобач И.А., Каблуков С.И., Мелькумов М.А., Хопин В.Ф., Бабин С.А., Дианов Е.М. Одночастотный висмутовый лазер с самосканированием частоты // Фотон-экспресс. Спецвыпуск: Всероссийская конференция по волоконной оптике – ВКВО–2015 (г. Пермь, Россия, 7–9 октября 2015), № 6 (126). С. 87–88.
65. Малиновский В.К., Жданов Р.К., Гец К.В., Белослудов В.Р., Зыкова В.А., Суровцев Н.В. Происхождение аномалии поведения вязкости воды вблизи 0°C // Письма в ЖЭТФ, т. 102, вып. 11. С. 843–847.
66. Малов А.Н., Оришич А.М., Достовалов А.В., Кузнецов А.Г., Бабин С.А. Сравнительные характеристики применения импульсно-периодического CO₂-, волоконного наносекундного и фемтосекундного лазеров для изготовления микроотверстий // Прикладная фотоника, 2015, т. 2, № 2. С. 166–182.
67. Медведев Н.С., Путьмаков А.Н., Шаверина А.В., Цыганкова А.Р., Сапрыкин А.И. Снижение пределов обнаружения примесей при анализе высокочистых веществ методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 157–160.
68. Микерин С.Л., Плеханов А.И., Симанчук А.Э., Якиманский А.В. Генерация широкоплоского терагерцового излучения в резонансных ориентированных органических средах // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 3. С. 155–163.
69. Минаева В.А., Минаев Б.Ф., Барышников Г.В., Суровцев Н.В., Черкасова О.П., Ткаченко Л.И., Карауш Н.Н., Стромьло Е.В. Температурные эффекты в низкочастотных спектрах комбинационного рассеяния света кортикостероидных гормонов // Оптика и спектроскопия, 2015, т. 118, № 2. С. 227–236.
70. Миронников Н.Г., Деревянко Д.И., Корольков В.П., Шелковников В.В. Исследование лазерной записи дифракционных структур на пленках нового гибридного фотополимерного материала // Известия высших учебных заведений. Физика, 2015, т. 58, № 11/3. С. 144–146.
71. Миронников Н.Г., Деревянко Д.И., Корольков В.П., Шелковников В.В. Исследование механических и термооптических свойств нового гибридного фотополимерного материала // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 1. С. 59–64.
72. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Спектральное согласование элементов интегрально-оптических устройств на основе халькогенидных стекол // Оптика и спектроскопия, 2015, т. 119, № 1. С. 147–150.
73. Насыров К.А. Метод расчета резонансов в ячейках с антирелаксирующим покрытием высокого качества // Автометрия, 2015, т. 51, № 2. С. 71–76.

74. Немькин А.В., Перминов С.В., Фрумин Л.Л., Шапиро Д.А. Возбуждение плазмонного резонанса в металлических цилиндрах неоднородной волной // Квантовая электроника, 2015, т. 45, № 3. С. 240–244.
75. Панкратов С.В., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Ващенко П.В. Автоматическая градуировка спектрометров с анализаторами МАЭС по длинам волн (профилирование) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 128–134.
76. Паньков А.В., Насыров Р.К., Корольков В.П. Моделирование и оптимизация фотолитографической технологии изготовления дифракционного поворотного фокусирующего элемента для ИК диапазона // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 1. С. 12–17.
77. Паньков А.В., Насыров Р.К., Корольков В.П. Оптимизация метода изготовления высокоэффективных дифракционных оптических элементов с применением фотолитографии с зазором // Известия высших учебных заведений. Физика, 2015, т. 58, № 11/3. С. 136–140.
78. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Лазер на парах щелочных металлов с поперечной диодной накачкой // Квантовая электроника, 2015, т. 45, № 9. С. 797–806.
79. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Спектральная форма сигнала при диффузионном втягивании (выталкивании) частиц в световой пучок // Там же, № 2. С. 131–135.
80. Полещук А.Г., Корольков В.П., Насыров Р.К. Дифракционные оптические элементы для управления параметрами лазерного излучения и прецизионного контроля формы асферических поверхностей, Круговая лазерная записывающая система для изготовления ДОЭ на сферических поверхностях // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 2. С. 232–238.
81. Полещук А.Г., Корольков В.П., Насыров Р.К. Дифракционные оптические элементы: методы изготовления и практическое применение // Контенант, 2015, т. 14, № 1. С. 16–19.
82. Полещук А.Г., Корольков В.П., Седухин А.Г., Саметов А.Р., Шиманский Р.В. Прямая лазерная запись в плёнках хрома полутонных микроизображений с большим динамическим диапазоном // Автометрия, 2015, т. 51, № 3. С. 87–93.
83. Полещук А.Г., Насыров Р.К., Маточкин А.Е., Хомутов В.Н., Черкашин В.В., Качк А.Е., Верхогляд А.Г., Касторский Л.Б., Михалкин В.М. Разработка интерференционно-голографической ИК системы контроля формы центрального параболического зеркала космического телескопа обсерватории «Миллиметрон» // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Между-

- народная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 5, № 1. С. 51–58.
84. Пугачев А.М., Ковалевский В.И., Малиновский В.К., Малицкая М.А., Раевская С.И., Раевский И.П., Суровцев Н.В. Исследование локальных полярных неоднородностей в $Pb_3(MgNb_2)O_9$ методом генерации второй гармоники // Физика твердого тела, 2015, т. 57, вып. 3. С. 461–464.
 85. Путьмаков А.Н., Зарубин И.А., Бурумов И.Д., Селюнин Д.О. Спектрометр «Павлин» для атомно-эмиссионного спектрального анализа с атомизацией в пламени // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 105–108.
 86. Путьмаков А.Н., Пелипасов О.В., Максимов А.Ю., Боровиков В.М., Чернов К.Н. Разработка источника СВЧ плазмы для атомно-эмиссионного спектрального анализа растворов // Там же. С. 117–121.
 87. Резник А.Л., Ефимов В.М., Соловьев А.А., Торгов А.В. Компьютерно-аналитические методы решения вероятностных задач, возникающих при исследовании случайных точечных структур // Известия Алтайского государственного университета, 2015, № 1/1, т. 85. С. 182–186.
 88. Романюк О.Н., Дудник О.О., Вяткин С.И. Модифікація методів анізотропної фільтрації // International scientific-technical magazine «Measuring and Computing Devices in Technological Processes», 2015, т. 52, № 3. С. 193–195.
 89. Рябцев И.И., Тайченачев А.В., Чаповский П.Л. и др. Лазерное охлаждение атомов для применений в квантовой информатике и метрологии // Вестник РФФИ, 2015, № 4 (88). С. 29–41.
 90. Сапрыкин Э.Г., Сорокин В.А., Шалагин А.М. Наблюдение узких изотопических оптико-магнитных резонансов в излучении на отдельных спектральных линиях неона // Квантовая электроника, 2015, т. 45, № 7. С. 672 – 679.
 91. Семёнов З.В., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Ващенко П.В. Алгоритм обработки последовательностей спектров для сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 135–142.
 92. Сизов М.М., Зюбин В.Е. Конфигурируемый вычислитель на базе FPGA для потоковой обработки видеосигналов // Цифровая обработка сигналов, 2015, № 12. С. 55–57.
 93. Соболев В.С., Журавель Ф.А., Кашеева Г.А. Максимально правдоподобные оценки параметров сигналов лазерных доплеровских систем в присутствии аддитивного окрашенного шума // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 1. С. 116–123.
 94. Соболев В.С., Кашеева Г.А., Журавель Ф.А. Оптимальные оценки скорости по критерию максимального правдоподобия для лазерной доплеровской анемометрии // Автометрия, 2015, т. 51, № 4. С. 92–103.

95. Соболев В.С. Сравнение границ Рао-Крамера и дисперсии максимально правдоподобных оценок центральной частоты узкополосного нормального случайного процесса // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», т. 1. С. 89–94.
96. Соболев В.С., Уткин Е.Н., Кашеева Г.А., Журавель Ф.А., Щербаченко А.М. Доплеровское смещение частоты модуляции лазерного излучения, рассеянного движущимся объектом // Оптика и спектроскопия, 2015, № 2. С. 307–311.
97. Терентьев В.С., Симонов В.А. Отражательный волоконный интерферометр на основе тонкой металлической дифракционной структуры с повышенной лучевой стойкостью // Фотон-экспресс. Спецвыпуск: Всероссийская конференция по волоконной оптике – ВКВО–2015 (г. Пермь, Россия, 7–9 октября 2015), № 6 (126). С. 222–223.
98. Терентьев В.С., Симонов В.А. Экспериментальный метод изготовления согласованной металл-диэлектрической структуры для сенсора на основе эффекта нарушения полного внутреннего отражения // Автоматика, 2015, т. 51, № 6. С. 89–98.
99. Тимофеев В.Ю., Калиш Е.Н., Валитов М.Г., Стусь Ю.Ф., Кулинич Р.Г., Ардюков Д.Г., Горнов П.Ю., Тимофеев А.В., Носов Д.А., Сизиков И.С. Косейсмические эффекты на континентальной окраине (космическая геодезия и гравиметрия) // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология», т. 2. С. 264–270.
100. Феоктистов А.С., Нежевенко Е.С. Классификация гиперспектральных изображений с помощью преобразования Гильберта – Хуанга // Там же. Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология», т. 2. С. 23–27.
101. Феоктистов А.С., Нежевенко Е.С. Оперативное прогнозирование пространственно распределенных динамических процессов на поверхности Земли на основе усвоения данных // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, 2015, т. 13, № 2. С. 103–115.
102. Фурсенко Д.В., Хоцкин Н.В., Куликов В.А., Куликов А.В. Поведенческое фенотипирование мышей с нокаутом по фактору некроза опухоли // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2015, т. 19, № 4. С. 394–398.
103. Харенко Д.С., Беднякова А.Е., Подивилов Е.В., Федорук М.П., Аполонский А.А., Бабин С.А. Генерация мощных фемтосекундных ВКР-импульсов в волоконном лазере // Фотон-экспресс. Спецвыпуск: Все-

- российская конференция по волоконной оптике – ВКВО–2015 (г. Пермь, Россия, 7–9 октября 2015), № 6 (126). С. 71–72.
104. Хоцкин Н.В., Куликов В.А., Завьялов Е.Л., Фурсенко Д.В., Куликов А.В. Проведения и автоматизация теста «Водный лабиринт Морриса» в условиях SPF-вивария // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2015, т. 19, № 4. С. 388–393.
105. Шиманский Р.В., Полещук А.Г., Корольков В.П., Черкашин В.В. Методы увеличения точности нанопозиционирования в системах синтеза дифракционной оптики // Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (г. Новосибирск, Россия, 13–25 апреля 2015). Международная научная конференция «СибОптика – 2015», вып. 5, т. 1. С. 128–131.
1. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Potaturkin O.I. Effect of a magnetic field on wideband terahertz generation on the surface of semiconductors // IEEE Transactions on terahertz science and technology, 2015, v. 5, iss. 4. P. 673–679.
 2. Arkhipov S.G., Rychkov D.A., Pugachev A.M., Boldyreva E.V. New hydrophobic L-amino acid salts: maleates of L-leucine, L-isoleucine and L-norvaline // Acta Crystallographica Section C, 2015, v. C71. P. 584–592.
 3. Atutov S.N., Benimetskiy F.A., Plekhanov A.I. Collision of atoms with porous polymer surface: Evidence of influence of bulk diffusion on anomalously long dwell time of Rb atoms // European Physical Journal D, 2015, v. 69, issue 7, 29 July 2015. Article number 182.
 4. Atutov S.N., Plekhanov A.I. Accurate measurement of the sticking time and sticking probability of Rb atoms on a polydimethylsiloxane coating // ЖЭТФ, т. 147, вып. 1. С. 5–13.
 5. Babin S.A., Dontsova E.I., Vatnik I.D., Kablukov S.I. Second harmonic generation of a random fiber laser with Raman gain // Proceedings SPIE, 2015, v. 9347, paper 9347-34. P. 1–9.
 6. Bagayev S.N., Osipov V.V., Vatnik S.M., Shitov V.A., Vedin I.A., Platonov V.V., Steinberg I.Sh., Maksimov R.N. Ho:YAG transparent ceramics based on nanopowders produced by laser ablation method: Fabrication, optical properties, and laser performance // Optical materials, v. 50, Part A, 2015. P. 47–51.
 7. Belai O.V., Frumin L.L., Podivilov E.V., Shapiro D.A. Efficient numerical method for solving the direct Zakharov-Shabat scattering problem // JOSA B, 2015, v. 32, № 2. P. 290–296.
 8. Belan S., Chernykh A., Lebedev V., Vergeles S. Confinement of inertial particles in viscous boundary layer of turbulent flow // Pis'ma v ZhETF, 2015, v. 101, iss. 1. P. 14–18.
 9. Chapovsky P.L., Wilson-Gordon A.D. Enrichment of nuclear spin isomers of molecules by bichromatic field // Journal of Physics: Conference Series (23rd International Laser Physics Workshop, LPHYS 2014; Sofia; Bulgaria; 14–18 July 2014; Code 111561), 2015, v. 594, issue 1. Article number 012003.

10. Chugui Y.V., Verkhoglyad A.G., Zavyalov P.S., Sysoev E.V., Kulikov R.V., Vykhristyuk I.A., Zavyalova M.A., Poleshchuk A.G., Korolkov V.P. Optical measuring and laser technologies for scientific and industrial applications // *Int. J. of Automation Technology*, 2015, v. 9, № 5. P. 515–524.
11. Churkin D.V., Kolokolov I.V., Podivilov E.V., Vatnik I.D., Nikulin M.A., Vergeles S.S., Terekhov I.S., Lebedev V.V., Falkovich G., Babin S.A. and Turitsyn S.K. Wave kinetics of random fibre lasers // *Nature Comm.*, 2015, № 2. P. 6214 (6 p.).
12. Churkin D.V., Sugavanam S., Tarasov N., Khorev S., Smirnov S.V., Kobtsev S.M., Turitsyn S.K. Stochasticity, periodicity and localised light structures in partially mode-locked fibre lasers // *Там же*, v. 6. P. 7004 (6 p.).
13. Churkin D.V., Sugavanam S., Vatnik I.D., Wang Z., Podivilov E.V., Babin S.A., Rao Y.J., Turitsyn S.K. Recent advances in fundamentals and applications of random fiber lasers // *Advances in Optics and Photonics*, 2015, v. 7, № 3. P. 516–569.
14. Dmitriev A.A., Surovtsev N.V. Temperature-dependent hydrocarbon chain disorder in phosphatidylcholine bilayers studied by Raman spectroscopy // *Journal of Physical Chemistry B*, 2015, v. 119, № 51. P. 15613–15622.
15. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Mezentsev V.K., Okhrimchuk A.G., Babin S.A. Quantitative characterization of energy absorption in femtosecond laser micro-modification of fused silica // *Optics Express*, 2015, v. 23, № 25. P. 32542–32547.
16. Dostovalov A.V., Korolkov V.P. and Babin S.A. Simultaneous formation of ablative and thermochemical laser-induced periodic surface structures on Ti film at femtosecond irradiation // *Laser Physics Letters*, 2015, v. 12, № 3. P. 036101 (6 p.).
17. Dudina D.V., Ukhina A.V., Bokhonov B.B., Mali V.I., Anisimov A.G., Bulina N.V., Skovorodin I.N. Nickel-Graphite Composites of variable architecture by graphitization-accompanied spark plasma sintering and hot pressing and their response to phase separation // *Science of Sintering*, 2015, v. 47. P. 237–248.
18. Efimov V.M., Reznik A.L., and Bondarenko Ju.V. Filtration of a periodic signal when its period is not divisible by the signal sampling interval // *Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications*, 2015, v. 25, № 2. P. 161–166.
19. Erofeev V.I. A maximally informative version of inelastic scattering of electromagnetic waves by Langmuir waves // *Physics of Plasmas*, 2015, v. 22. P. 092302 (17 p.).
20. Erofeev V.I. Dissipation of Langmuir waves in the process of their nonlinear conversion into electromagnetic waves // *Journal of Plasma Physics*, 2015, v. 81, № 3. P. 905810322 (20 p.).
21. Fadeev S.I., Kostsov E.G., and Pimanov D.O. Numerical study of mathematical models of microelectromechanical resonators of various types // *Journal of Applied and Industrial Mathematics*, 2015, v. 9, № 1. P. 47–60.

22. Fan M.Q., Wang Z.N., Wu H., Churkin D.V. High resolution optical time-domain reflectometry based on correlation utilizing an all-fiber chaotic source // Proceedings of SPIE. The International Society for Optical Engineering (5th Asia-Pacific Optical Sensors Conference, APOS 2015; Lotte City Hotel JejuJeju; South Korea; 20–22 May 2015; Code 113227), 2015, v. 9655, 2015. Article number 96553J.
23. Fan M.Q., Wang Z.N., Wu H., Churkin D.V. Long-range and high-resolution correlation optical time-domain reflectometry utilizing an all optical chaotic source // Там же, Article number 965548.
24. Frumin L.L., Belai O.V., Podivilov E.V., Shapiro D.A. Efficient numerical method for solving the direct Zakharov–Shabat scattering problem // JOSA B, 2015, v. 32, № 2. P. 290–296.
25. Gorbunov A.I., Serdyukov O.V. Choosing actuators for automatic control systems of thermal power plants // Power Technology and Engineering, March 2015, v. 48, № 6. P. 464–466.
26. Gorbunov O.A., Sugavanam S., Churkin D.V. Intensity dynamics and statistical properties of random distributed feedback fiber laser // Opt. Lett., 2015, v. 40, № 8. P. 1783–1786.
27. Gorkunov M.V., Sturman B.I., Podivilov E.V. Selective excitation of plasmons superlocalized at sharp perturbations of metal nanoparticles // EPL, 2015, v. 110. P. 57004 (6 p.).
28. Ignatieva L.N., Surovtsev N.V., Savchenko N.N., Adichtchev S.V., Merkulov E.B., Marchenko Yu.V., Zverev G.A., Buznik V.M. Glasses in the system ZrF_4 - BaF_2 - BiF_3 : Thermal and spectroscopic properties // Journal of Non-Crystalline Solids, 2015, v. 426. P. 7–12.
29. Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Apolonski A.A., Babin S.A. Feedback-controlled Raman dissipative solitons in a fiber laser // Optics Express, 2015, v. 23, № 2. P. 1857–1862.
30. Komarov A., Komarov K., Sanchez F. Harmonic passive mode locking of bound-soliton structures in fiber lasers // Optics Communications, 2015, v. 354. P. 158–162.
31. Kuchyanov A.S., Chubakov P.A., Plekhanov A.I. Highly sensitive and fast response gas sensor based on a light reflection at the glass-photonic crystal interface // Там же, v. 351. Article number 20096. P. 109–114.
32. Kuznetsov A.G., Podivilov E.V., Babin S.A. Actively Q-switched Raman fiber laser // Laser Phys. Lett., 2015, v. 12, № 3. P. 5102.
33. Lobach I.A., Kablukov S.I., Fotiadi A.A., Babin S.A. Fourier synthesis with single-mode pulses from a multimode laser // Opt. Letters, 2015, v. 40, № 15. P. 3671–3674.
34. Lobach I.A., Kablukov S.I., Melkumov M.A., Khopin V.F., Babin S.A. Single-frequency Bismuth-doped fiber laser with quasi-continuous self-sweeping // Optics Express, 2015, v. 23, issue 19. P. 24833–24842.
35. Nasyrov K., Entin V., Nikolov N., Petrov N., Cartaleva S. Simple method for characterization of anti-relaxation coating of optical cells // Proc. SPIE, 9447, 2015. 18th International School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications (Sozopol, Bulgaria, September 29, 2014). P. 944704.

36. Nasyrov K., Gozzini S., Lucchesini A., Marinelli C., Gateva S., Cartaleva S., Marmugi L. Anti-relaxation coatings in coherent spectroscopy: theoretical investigation and experimental test. // *Phys. Rev. A*, 2015, v. 92, iss. 4. P. 043803.
37. Okotrub K.A., Surovtsev N.V. Redox State of Cytochromes in Frozen Yeast Cells Probed by Resonance Raman Spectroscopy // *Biophysical Journal*, v. 109, iss. 11. P. 2227–2234.
38. Okotrub K.A., Surovtsev N.V., Semeshin V.F., Omelyanchuk L.V. Raman spectroscopy for DNA quantification in cell nucleus // *Cytometry A*, 2015, v. 87, № 1. P. 68–73.
39. Palyanov Y.N., Kupriyanov I.N., Borzdov Y.M., Surovtsev N.V. Germanium: a new catalyst for diamond synthesis and a new optically active impurity in diamond // *Scientific Reports*, 2015, v. 5. P. 14789 (7 p.).
40. Poleshchuk A.G. and Sedukhin A.G. Diffraction technique for testing the resolution and sensitivity of Hartmann and Shack–Hartmann sensors // *Optics Letters*, 2015, v. 40, № 21. P. 5050–5053.
41. Pugachev A.M., Kovalevsky V.I., Malinovsky V.K., Borzdov Yu.M., Surovtsev N.V. Relaxor-like features in pressure-treated barium titanate powder // *Applied Physics Letters*, 2015, v. 107, № 10. P. 102902 (4 p.).
42. Rees P.C.T., Mitchel J.B., Volkov A., Asfour J.-M., Weidner F., Poleshchuk A.G., Nasyrov R.K. The use of diffractive imitator optics as calibration artefacts // *Proceedings of SPIE*, v. 9575 (SPIE, Bellingham, WA 2015). *Optical Manufacturing and Testing XI*, Oliver W. Föhnle; Ray Williamson; Dae Wook Kim, Editors. P. 957516.
43. Reznik A.L., Efimov V.M., Solov'ev A.A., and Torgov A.V. On the reliable readout of random discrete-point structures // *Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications*, 2015, v. 25, № 1. P. 84–88.
44. Savina A.A., Atuchin V.V., Solodovnikov S.F., Solodovnikova Z.A., Krylov A.S., Maximovskiy E.A., Molokeev M.S., Oreshonkov A.S., Pugachev A.M., Khaikina E.G. Synthesis, structural and spectroscopic properties of acentric triple molybdate $\text{Cs}_2\text{NaBi}(\text{MoO}_4)_3$ // *Journal of Solid State Chemistry*, 2015, v. 225. P. 53–58.
45. Sedukhin A.G. Rectangular symmetrical mesa beams and their comparison with flattened Gaussian and multi-Gaussian beams // *Optics Communications*, 2015, v. 335. P. 284–292.
46. Shapiro E.G., Shapiro D.A., Turitsyn S.K. Method for computing the optimal signal distribution and channel capacity // *Optics Express*, 2015, v. 23, № 12. P. 15119–15133.
47. Smirnov S., Tarasov N., Churkin D. Radiation build-up in laminar and turbulent regimes in quasi-CW Raman fiber laser // *Там же*, № 21. P. 27606–27611.
48. Solntsev V.P., Bekker T.B., Yelisseyev A.P., Davydov A.V., Surovtsev N.V., Adichtchev S.V. Growth and optical properties of Nd^{3+} -doped $\text{Ba}_2\text{Na}_3[\text{B}_3\text{O}_6]_2\text{F}$ crystals // *Journal of Crystal Growth*, 2015, v. 41. P. 49–53.

49. Sorokin A.V., Zabolotskii A.A., Pereverzev N.V., Yefimova S.L., Mal'yukin Yu.V., Plekhanov A.I. Metal-enhanced fluorescence of pseudoisocyanine J-aggregates formed in layer-by-layer assembled films // *Journal of Physical Chemistry C*, 2015, v. 119, issue 5, 5 February 2015. P. 2743–2751.
50. Steinberg I.Sh., Shepetkin Yu.A. Restoration of the near-diffraction-limited response size at heterodyne detection of microholograms, distorted by spherical aberration // *Applied Optics*, 2015, v. 54 (30). P. 8878–8883.
51. Sturman B., Breunig I. Brillouin lasing in whispering gallery microresonators // *New Journal of Physics*, 2015, v. 17. P. 125006 (12 p.).
52. Sturman B., Breunig I. Acoustic whispering gallery modes within the theory of elasticity // *J. Appl. Phys.*, 2015, v. 118. P. 013102 (6 p.).
53. Sturman B., Podivilov E., Stepanov M., Tagantsev A., Setter N. Quantum properties of charged ferroelectric domain walls // *Phys. Rev. B*, v. 92. P. 214112.
54. Sugavanam S., Tarasov N., Wabnitz S., Churkin D.V. Ginzburg–Landau turbulence in quasi-CW Raman fiber lasers // *Laser & Photon. Rev.*, 2015, v. 9, № 6. L35–L39.
55. Surovtsev N.V., Kupriyanov I.N. Temperature dependence of the Raman line width in diamond: Revisited // *Journal of Raman Spectroscopy*, 2015, v. 46, № 1. P. 171–176.
56. Tarasov N., Sugavanam S., Churkin D. Spatio-temporal generation regimes in quasi-CW Raman fiber lasers // *Optics Express*, 2015, v. 23. P. 24189–24194.
57. Ukhina A.V., Dudina D.V., Anisimov A.G., Mali V.I., Bulina N.V., Bataev I.A., Skovorodin I.N., Bokhonov B.B. Porous electrically conductive materials produced by Spark Plasma Sintering and hot pressing of nanodiamonds // *Ceramics International*, 2015, v. 41, iss. 9, part B. P. 12459–12463.
58. Vyatkin S., Romaniuk S., Romaniuk O. Visualization of 3D-amorphous objects using free forms // *Электротехнические и компьютерные системы. Научно-технический журнал. МОН Украины*, 2015, № 19 (95). С. 227–230.
59. Vyatkin S.I. Polygonization method for functionally defined objects // *International Journal of Automation, Control And Intelligent Systems*, 2015, v. 1, № 1. P. 1–8.
60. Vyatkin S.I. Three-dimensional modeling of the Volcano Bandai using shape texture // *International Journal of Natural Sciences Research*, 2015, v. 3, № 2. P. 21–29.
61. Wang Z.N., Fan M.Q., Zhang L., Wu H., Churkin D.V., Li Y., Qian X.Y., and Rao Y.J. Long-range and high-precision correlation optical time-domain reflectometry utilizing an all-fiber chaotic source // *Optics Express*, 2015, v. 23. P. 15514–15520.
62. Wolf A.A., Dostovalov A.V., Lobach I.A., Babin S.A. Femtosecond laser inscription of long-period fiber gratings in a polarization-maintaining fiber // *J. Lightwave Technology*, 2015, v. 33, № 24. P. 5178–5183.

63. Wu H., Wang Z.N., Churkin D.V., Vatnik I.D., Fan M.Q., Rao Y.J. Random distributed feedback Raman fiber laser with polarized pumping // *Laser Physics Letters*, 2015, v. 12, № 1. P. 015101.
64. Yao B.C., Churkin, D., Turitsyn S., Wong C.W. Graphene based widely-tunable and singly-polarized pulse generation with random fiber lasers // *Scientific Reports*, 2015, v. 5. Article number 18526.
65. Zlobina E.A., Kablukov S.I., and Babin S.A. High-efficiency CW all-fiber parametric oscillator tunable in 0.92-1 μm range // *Optics Express*, 2015, v. 23, № 2. P. 833–838.
66. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Linearly polarized random fiber laser with ultimate efficiency // *Opt. Lett.*, 2015, v. 40, № 17. P. 4074–4077.
67. Zlobina E.A., Kharenko D.S., Kablukov S.I., Babin S.A. Four wave mixing of conventional and Raman dissipative solitons from single fiber laser // *Optics Express*, 2015, v. 23, № 13. P. 16589–16594.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ

Труды международных и российских конференций

1. Багинский И.Л., Косцов Э.Г., Соколов А.А. Электретный ударный микрогенератор // V Всероссийская конференция «Фундаментальные основы МЭМС и нанотехнологий 2015» (г. Новосибирск, Россия, 15–18 июня 2015), вып. 5, т. 1. С. 63–67.
2. Белкин А.М. Многофункциональные периодические МЭМС-структуры для оптических приложений // Там же. С. 81–85.
3. Бессмельцев В.П., Вилейко В.В., Катасонов Д.Н., Морозов В.В., Служев В.А. Применение беспроводных технологий для мониторинга сердечной деятельности человека // III Международная научно-техническая конференция «Радиотехника, электроника и связь» (г. Омск, Россия, 6–8 октября 2015). Омск: Издательский дом «Наука», 2015. С. 338–344.
4. Бессмельцев В.П., Полещук А.Г., Корольков В.П., Никаноров Ю.Н., Карван, А.Л., Верхогляд А.Г. Прецизионный лазерный технологический комплекс для производства шкал, сеток, фотошаблонов и синтезированных голограмм на основе лазерной трехмерной микро- и нанообработки // XII Международная конференция «Голография, Наука и практика», «ГолоЭкспо–2015» (г. Казань, Россия, 12–15 октября 2015). Сборник трудов. С. 38–43.
5. Борзов С.М., Пестунов И.А., Потатуркин О.И. Методы и технологии обработки гиперспектральных данных для мониторинга природной среды // XIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 55-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева «Решетневские чтения» (г. Красноярск, Россия, 10–14 ноября 2015). В 2 ч. Красноярск: Сибир-

- ский государственный аэрокосмический университет, 2015, ч. 1. С. 304–306.
6. Будников К.И., Курочкин А.В., Лубков А.А., Яковлев А.В. Оценка датчиков мониторинга электронной почты с помощью синтетического теста TransMail // Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2015», посвященной 90-летию со дня рождения академика Гурия Ивановича Марчука (г. Новосибирск, Россия, 19–23 октября 2015), ИВМиМГ СО РАН, 2015, Новосибирск: Абвей, 916 с. С. 140–143.
 7. Вяткин С.И., Романюк А.Н. Интерактивный пользовательский интерфейс для создания функционально заданных объектов // Дні науки в ДонНТУ: Материалы VI Международной конференции «Моделирование и компьютерная графика» (г. Красноармейск, Украина, 26–29 мая 2015). ДонНТУ, 2015. С. 169–173.
 8. Вяткин С.И., Романюк С.А., Павлов С.В. Визуализация свободных форм и воксельных объемов // Там же. С. 125–139.
 9. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Радостев А.Х. Разработка супервизорной системы удаленного управления коммутацией медиапотоков // XXV Международная научная конференция «GraphiCon2015» (г. Протвино, Парк Дракино, Московская обл., Россия, 22–25 сентября 2015). С. 241–243.
 10. Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Бережная В.Н., Лоскутов В.А., Орлова Н.А., Огнева Л.Н., Миронников Н.Г., Корольков В.П. Исследование оптических методов формирования многоуровневого дифракционного микрорельефа на пленках гибридного фотополимерного материала «гибример-42» // XII Международная конференция «Голография, Наука и практика», «ГолоЭкспо–2015» (г. Казань, Россия, 12–15 октября 2015). Сборник трудов. С.150.
 11. Долговесов Б.С. Опыт создания мультимедийных систем реального времени для обучения и презентаций // XXV Международная научная конференция «GraphiCon2015» (г. Протвино, Парк Дракино, Московская обл., Россия, 22–25 сентября 2015). С. 265–268.
 12. Долговесов Б.С., Городилов А.М., Храмцов И.Д. Синхронизация распределенного воспроизведения мультимедийных данных на полиэкранах // Там же. С. 237–240.
 13. Долговесов Б.С., Городилов М.А., Фатьянов Ф.В. Система обработки и отображения визуальной информации для тренажерных комплексов // Там же. С. 244–246.
 14. Достовалов А.В., Корольков В.П., Бабин С.А. Создание периодических самоориентирующихся структур на поверхности никеля и титана фемтосекундным излучением // VI Всероссийская конференция «Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине – CLART 2015» (г. Новосибирск, Россия, 24–27 марта 2015), т. 1. С. 89–92.
 15. Иванов В.А., Киричук В.С., Косых В.П., Синельщиков В.В. Особенности выделения малоразмерных динамических объектов в последова-

- тельностью дискретных изображений с пространственно-нестационарным фоном // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов [Электронный ресурс]: Труды всероссийской конференции (с. Усть-Сема, Республика Алтай, Россия, 24–28 августа 2015), 259 с., 100 экз. С. 84–89.
16. Иванов С.Д., Косцов Э.Г. Быстродействующий MEMS модулятор ИК-излучения // V Всероссийская конференция «Фундаментальные основы МЭМС и нанотехнологий 2015» (г. Новосибирск, Россия, 15–18 июня 2015), вып. 5, т. 1. С. 184–187.
 17. Косцов Э.Г., Пиманов Д.О., Фадеев С.И. Микроэлектромеханические СВЧ приборы конструкции и математические модели // Там же. С. 241–245.
 18. Косцов Э.Г., Соколов А.А. MEMS двигательные установки для коррекции орбиты микроспутников // Там же. С. 241–249.
 19. Лаврентьев М.М., Бартош В.С., Белого И.В., Васючкова Т.С., Городняя Л.В., Держо М.А., Иванов Е.Ю., Иванчева Н.А., Романенко А.А., Федотова О.А. Единая электронная образовательная среда Новосибирского государственного университета // Международная научная конференция «Педагогика и психология – 2015», 2 сессия (Москва, Россия, 26–27 июня 2015). С. 63–69.
 20. Ленкова Г.А. Особенности измерения оптической силы бифокальных дифракционно-рефракционных хрусталиков глаза МИОЛ-Аккорд // XII Международная конференция «Голография, Наука и практика», «ГолоЭкспо–2015» (г. Казань, Россия, 12–15 октября 2015). Сборник трудов. С. 286–289.
 21. Лиханова Ю.В., Медведев С.Б., Федорук М.Ф., Чаповский П.Л. Численное моделирование поведения конденсата Бозе–Эйнштейна на основе трехмерного уравнения Гросса–Питаевского // Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2015» (г. Новосибирск, Россия, 19–23 октября 2015), ИВМиМГ СО РАН, 2015. Новосибирск: Абвей. С. 467–471.
 22. Лубков А.А., Власов С.В., Котов В.Н., Максимов А.С., Попов Ю.А. Распределенная система управления солнечным вакуумным телескопом // Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2015», посвященной 90-летию со дня рождения академика Гурия Ивановича Марчука (г. Новосибирск, Россия, 19–23 октября 2015), ИВМиМГ СО РАН, 2015, Новосибирск: Абвей, 916 с. С. 472–476.
 23. Малыхин Е.В., Ваганова Т.А., Плеханов А.И., Микерин С.Л., Симанчук А.Э. Функциональные материалы на основе полифторароматических полиимидов // X Всероссийская конференция «Химия фтора» (г. Томск, Россия, 1–5 июня 2015) / под ред. В.М. Бузник. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 192 с. С. 91–95.
 24. Полещук А.Г., Корольков В.П., Бессмельцев В.П., Никоноров Ю.Н., Карван А.Л., Верхогляд А.Г. Прецизионный лазерный технологиче-

- ский комплекс для производства оптических элементов нового поколения на основе лазерной трехмерной микро и нанообработки // XII Международная конференция «Голография, Наука и практика», «ГолоЭкспо–2015» (г. Казань, Россия, 12–15 октября 2015). Сборник трудов. С. 38–42.
25. Полещук А.Г., Маточкин А.Е., Черкашин В.В., Хомутов В.Н. Интерферометр Физо с дифракционными эталонными сферами для контроля асферической оптики // Там же. С. 172–175.
 26. Полещук А.Г., Седухин А.Г. Оптимизация параметров высокоапертурного дифракционно-рефлекторного объектива // Там же. С. 319–321.
 27. Соболев В.С., Журавель Ф.А., Кащеева Г.А. Оценки центральной частоты узкополосного случайного нормального процесса в присутствии аддитивного окрашенного шума // XIII Международная научно-техническая конференция «Оптические методы исследования потоков» (Москва, Россия, 29 июня – 3 июля 2015), НИУ «МЭИ». Paper ID: 8-18. С. 464–475.
 28. Соболев В.С., Журавель Ф.А., Кащеева Г.А. Сравнительный анализ алгоритмов сглаживания выбросов частоты сигналов лазерного доплеровского анемометра // Там же. Paper ID: 8-16. С. 449–455.
 29. Соболев В.С., Уткин Е.Н., Кащеева Г.А., Журавель Ф.А., Щербаченко А.М. Доплеровское смещение частоты модуляции лазерного излучения, рассеянного движущимся объектом // Там же. Paper ID: 8–17. С. 456–463.
 30. Соловьев А.А. Компьютерные системы аналитических преобразований в задачах оценки надежности считывания цифровых изображений // XVI Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Красноярск, Россия, 28–30 октября 2015). С. 91–92.
 31. Чолач А.Р., Яковин Д.В. Применение методов ИК спектроскопии и масс-спектрометрии для контроля степени чистоты трифторида азота // X Всероссийская конференция «Химия фтора» (г. Томск, Россия, 1–5 июня 2015). С. 181–183.
 32. Яценко А.С., Казаков В.Г., Казаков В.В., Ковалев В.С. «Электронная структура атомов» и другие информационные системы по атомной спектроскопии: возможности специализации и кооперации в среде Интернет // XVIII Объединенная конференция «Интернет и современное общество» (IMS-2015). Университет ИТМО, библиотека РАН (г. Санкт-Петербург, Россия, 22–24 июня 2015). С. 353–359.
 33. Bednyakova A., Kharenko D., Podivilov E., Fedoruk M., Apolonskiy A., Babin S. Mode-locked all-fiber laser with cascaded generation of Raman dissipative solitons // Spatiotemporal Complexity in Nonlinear Optics – SCNO (Como, Italy, August 31 – September 4, 2015). P. 1–3.
 34. Bessmeltsev V., Katasonov D. A method of detecting the distorted areas of the electrocardiogram based on support vector machine // Материалы

- международной конференции «IEEE Sibcon 2015» (г. Омск, Россия, 21–23 мая 2015). CD (6 p.).
35. Gorkunov M.V., Sturman B.I., Podivilov E.V. Confining light with super-localized plasmon resonances // The 9th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics (Metamaterials 2015) (Oxford, UK, September 7–12, 2015). P. 82–84.
 36. Kulikov V.A. Application of a depth image analysis algorithm to automatic social behaviour estimation of laboratory animals // Sibircon/SibMed Info 2015. P. 191–192.
 37. Lavrentiev M.M., Spigler R., Goryunov E., Romanenko A.A. Diffusion model identification for long-term coastal profile evolution // International Offshore and Polar Engineering Conference (January 2015). P. 1271–1278.
 38. Lavrentyev M., Romanenko A., Goryunov E., Lysakov K. Modern simulation tools for real time numerical simulation of ocean-related processes // MTS/IEEE Oceans-2015 (Washington DC, USA, October 19–22, 2015) (4 p.).
 39. Reznik A., Torgov A., Soloviev A. Specialized computer systems for mathematical modeling of discrete point structures readout process // Международная конференция и молодежная школа «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ–2015) (г. Самара, Россия, 29 июня – 1 июля 2015). С. 99–101.
 40. Simonov V.A., Terentiev V.S., Goldina N.D. Synthesys of Metal-Dielectric Structure for Creating Optical Biosensors // The 7th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP7) (Jerusalem, Israel, May 31 – June 5, 2015). Part I-1. P. 8–9.
 41. Vyatkin S.I., Romanyuk O.V. Collision detection of solid objects // Дні науки в ДонНТУ: Матеріали VI Міжнародної конференції «Моделирование и компьютерная графика» (г. Красноармейск, Украина, 26–29 мая 2015). ДонНТУ, 2015. С. 113–124.
 42. Vyatkin S.I., Romanyuk O.V., Dudnyk O.O. Technology influenced the development of graphics processing units // XI International scientific and practical conference «Science without borders – 2015» (Sheffield, England, March 30 – April 7, 2015), v. 22: Modern information technologies. Science and education LTD, 2015. P. 44–48.
 43. Zolotukhin Yu.N., Kotov K.Yu., Maltsev A.S., Nesterov A.A., Sobolev M.A. and Filippov M.N. A relative measurement based leader-follower formation control of mobile robots // ICINCO 2015. 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, v. 2 (Colmar, Alsace, France, June, 2015). Proceedings. P. 310–313.

Дайджесты, тезисы, материалы семинаров и форумов

1. Адищев С.В., Малиновский В.К., Игнатъева Л.Н., Меркулов Е.В., Суворцов Н.В. Низкочастотное рассеяние света в стекле ZBLAN (ZrF₄-BaF₃-LaF₃-NaF) // V Сибирский семинар по спектроскопии комбина-

- ционного рассеяния света (г. Новосибирск, Россия, 28–30 сентября 2015). С. 23.
2. Алтухов А.Ю. Система трансляции данных о погоде в информационную сеть организации // 53 Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–17 апреля 2015). С. 238.
 3. Андросова Н.В., Зарубин И.А. Определение Са, К, Na и Сг в природных объектах на пламенном спектрометре «Павлин» // II Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием (г. Краснодар, Россия, 27 сентября – 3 октября 2015). С. 232.
 4. Анцыгин В.Д., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Потатуркин О.И. Анизотропия терагерцовых оптических свойств и особенности структуры кристаллов КТР // IV Международная конференция по фотонике и информационной оптике (г. Москва, Россия, 28–30 января 2015). Сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. С. 58–59.
 5. Бенимецкий Ф.А. Исследование структуры плазмонных нанолазеров // 53 Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс»: Квантовая физика (г. Новосибирск, Россия, 11–17 апреля 2015). Новосибирск: Изд-во НГУ, 2015. С. 80.
 6. Берёза А.С. Рассеяние волны на параллельных цилиндрах в борновском приближении // X Всероссийская конференция молодых ученых «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика» (г. Саратов, Россия, 8–10 сентября 2015). Саратов, Издательство «Техно-Декор», 2015. С. 18–19.
 7. Бокк Д.Н., Лабусов В.А., Зарубин И.А. Определение неметаллических включений в образце рельсовой стали методом АЭС с искровым возбуждением на вакуумном спектрометре «Гранд-Эксперт» // II Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием (г. Краснодар, Россия, 27 сентября – 3 октября 2015). С. 28.
 8. Болдова С.С., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Ващенко П.В. Одновременный многоэлементный анализ природных и питьевых вод методом атомно-абсорбционной спектрометрии с источником непрерывного спектра // Там же. С. 29.
 9. Борзов С.М., Голицын А.В., Долговесов Б.С., Потатуркин О.И., Филиппов М.Н. Информационное обеспечение систем наблюдения распределенных роботизированных комплексов // Российская конференция по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника–2015» (г. Новосибирск, Россия, 12–16 октября 2015): тезисы. Новосибирск: ИФП СО РАН, 2015. С. 86.
 10. Борзов С.М., Голицын А.В., Цивинский М.Ю. Перспективы использования электроуправляемых жидкостных линз в оптико-электронных системах // Там же. С. 171.

11. Борзов С.М., Долговесов Б.С., Потатуркин О.И., Филиппов М.Н. Информационное обеспечение в системах наблюдения, позиционирования и отображения реальных сцен // Всероссийская конференция с международным участием «Индустриальные информационные системы» «ИИС–2015» (г. Новосибирск, Россия, 20–24 сентября 2015). Новосибирск, КТИ ВТ СО РАН, 2015. С. 12–13.
12. Борзов С.М., Потатуркин О.И., Узилов С.Б. Обнаружение выборочных рубок леса по разновременным изображениям спутника SPOT // Там же. С. 13–14.
13. Будников К.И., Курочкин А.В., Лубков А.А., Яковлев А.В. Оценка датчиков мониторинга электронной почты с помощью синтетического теста TransMail // Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2015», посвященная 90-летию со дня рождения академика Гурия Ивановича Марчука. Тезисы. Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия, 19–23 октября 2015). Новосибирск: Академиздат, 2015. С. 103.
14. Ващенко П.В., Лабусов В.А. Алгоритм обработки атомно-абсорбционных спектров с непрерывным источником излучения // XVI Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Красноярск, Россия, 28–30 октября 2015). С. 64.
15. Власов С.В. Использование интерфейса IPMI в системах промышленной автоматики // Всероссийская конференция с международным участием «Индустриальные информационные системы» ИИС–2015 (г. Новосибирск, Россия, 20–24 сентября 2015). Новосибирск, КТИ ВТ СО РАН, 2015. С. 16–17.
16. Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Гольденберг Б.Г., Лемзяков А.Г., Миронников Н.Г. Формирование и исследование микроструктур на основе гибридных акрилат-силоксановых олигомеров для LIGA-технологии // Национальная молодежная научная школа «Синхронные и нейтронные исследования» (СИН-нано) (Москва, Россия, 6–11 июля 2015). Сборник аннотаций. С. 39.
17. Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Орлова Н.А., Гольденберг Б.Г., Лемзяков А.Г., Миронников Н.Г. Формирование и исследование микроструктур на основе акрилатного мономера для ligo-технологии // III Международная школа-семинар «Фотоника нано- и микроструктур» (г. Томск, Россия, 7–11 сентября 2015). Сборник трудов конференций. С. 21.
18. Долговесов Б.С., Городилов М.А., Фатьянов Ф.В., Брагин В.И. Система обработки и отображения в реальном времени распределенных мультимедийных данных для задач тренажерных комплексов РС МКС // XI Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени

- Ю.А.Гагарина», Звездный городок, Московская обл., Россия, 10–12 ноября 2015), 2015. С. 247–248.
19. Зайцева И.В., Пугачев А.М. Комбинационное рассеяние света как метод исследования сегнетоэлектрических композитов на основе сегнетоэлектрика титаната бария // V Сибирский семинар по спектроскопии комбинационного рассеяния света (г. Новосибирск, Россия, 28–30 сентября 2015). С. 51.
 20. Зыкова В.А. Переход от аррениусовского поведения температурной зависимости времени релаксации стеклюющихся жидкостей к неаррениусовскому // Там же. С. 83.
 21. Карпегина Ю.А. Исследование распределения концентрации глицерина в замороженном растворе криопротектора методом комбинационного рассеяния света // Там же. С. 22.
 22. Катасонов Д.Н. Особенности применения емкостных беспроводных бесконтактных интеллектуальных датчиков ЭКГ // VI Международный конгресс «Кардиология на перекрестке наук» совместно с X Международным симпозиумом по эхокардиографии и сосудистому ультразвуку «Актуальные проблемы кардиологии» (г. Тюмень, Россия, 20–22 мая 2015). С. 79–80.
 23. Косцов Э.Г., Соболев В.С. Быстродействующий неохлаждаемый тепловой приемник излучения на основе тонких пироэлектрических пленок // Российская конференция по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника–2015» (г. Новосибирск, Россия, 12–16 октября 2015): тезисы. Новосибирск: ИФП СО РАН, 2015. С. 179.
 24. Косцов Э.Г., Иванов С.Д. Элемент неохлаждаемой мегапиксельной тепловизионной матрицы на основе тонких пироэлектрических пленок // Там же. С. 89.
 25. Крылов А.С., Молокеев М.С., Крылова С.Н., Попова В.А., Иваненко А.А., Иванов Ю.Н., Суховский А.А., Втюрин А.Н. Спектры комбинационного рассеяния и фазовые переходы в слоистом перовските CsScF_4 // V Сибирский семинар по спектроскопии комбинационного рассеяния света (г. Новосибирск, Россия, 28–30 сентября 2015). С. 10.
 26. Лабусов В.А. Приборы компании «ВМК-Оптоэлектроника» для прямого атомно-эмиссионного спектрального анализа порошков, металлов и сплавов // II Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии с международным участием (г. Краснодар, Россия, 27 сентября – 3 октября 2015). С. 277.
 27. Лаврентьев М.М., Бартош В.С., Белого И.В., Васючкова Т.С., Городняя Л.В., Держо М.А., Иванов Е.Ю., Иванчева Н.А., Романенко А.А., Федотова О.А. Развитие технологий смешанного обучения в Новосибирском государственном университете // XVIII Всероссийская объединенная конференция «Интернет и современное общество» (IMS-2015) (Санкт-Петербург, Россия, 22–25 июня 2015). Сборник тезисов докладов. СПб: Университет ИТМО, 2015. С. 72–74.

28. Лубков А.А., Власов С.В., Котов В.Н., Максимов А.С., Попов Ю.А. Распределенная система управления солнечным вакуумным телескопом // Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2015», посвященная 90-летию со дня рождения академика Гурия Ивановича Марчука. Тезисы. ИВМиМГ СО РАН (г. Новосибирск, Россия, 19–23 октября 2015). Новосибирск: Академиздат, 2015. С. 108.
29. Лях Т.В. Тестирование алгоритмов управления с помощью концепции ВОУ и формальных методов // 53 Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–17 апреля 2015). С. 114.
30. Лях Т.В., Сизов М.М. Применение языка Erlang для разработки систем промышленной автоматизации // Там же. С. 147.
31. Лях Т.В., Сизов М.М. Расширение среды mbeddr моделью гиперпроцессов на основе языка Reflex // Там же. С. 140.
32. Максимов Ал. С. Моделирование и разработка устройства термокомпенсации иллюминатора вакуумной трубы солнечного телескопа // Там же. С. 77.
33. Максимов Ан. С. Исследование программно-аппаратных методов компенсации инструментальной погрешности угловых фотоэлектрических преобразователей // Там же. С. 24.
34. Медведев С.Б., Лиханова Ю.В., Федорук М.Ф., Чаповский П.Л. Вариационный метод для нелинейного уравнения Шредингера с гармоническим потенциалом // VII Международная конференция «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике» (г. Новосибирск, Россия, 7–11 сентября 2015). Тезисы докладов. С. 42–43.
35. Микерин С.Л., Плеханов А.И., Симанчук А.Э., Якиманский А.В. Полигонированные нелинейно-оптические полимеры для генерации широкополосного терагерцового излучения // Российской конференция по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2015» (Новосибирск, Россия, 12–16 октября 2015). С. 111.
36. Окотруб К.А. Исследование зарядового состояния цитохромов в замораживаемых биологических клетках методом комбинационного рассеяния света // V Сибирский семинар по спектроскопии комбинационного рассеяния света (г. Новосибирск, Россия, 28–30 сентября 2015). С. 19.
37. Окотруб К.А. Спектроскопия КРС в молекулярной биологии: вчера, сегодня, завтра // Там же. С. 78.
38. Окотруб К.А., Суровцев Н.В. Семешин В.Ф., Омелянчук Л.В. Использование Рамановской спектроскопии для измерения содержания ДНК в клеточном ядре // Там же. С. 70.
39. Парыгин А.В., Вольф А.А., Зюбин В.Е., Достовалов А.В., Бабин С.А. 1D система стабилизации положения оптического волокна // XVI Всероссийская конференция молодых учёных по математическому

- моделированию и информационным технологиям (г. Красноярск, Россия, 28–30 октября 2015). Материалы конференции. С. 84.
40. Плеханов А.И. Высокоскоростные оптические модуляторы на основе нелинейно-оптических полимеров // Сборник тезисов докладов Российской конференции по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2015» (Новосибирск, Россия, 12–16 октября 2015). С. 54.
 41. Потатуркин О.И., Борзов С.М. Спектрально-пространственная классификация типов подстилающей поверхности по гиперспектральным данным дистанционного зондирования Земли // Abstracts of the International Conference “Computational and Informational Technologies in Science, Engineering and Education” «CITech-2015» (Almaty, Kazakhstan, September 24–27, 2015). Almaty: Казак университеті, 2015. С. 22.
 42. Радостев А.Х. Разработка супервизорной системы удаленного управления коммутацией медиапотоков // 53 Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–17 апреля 2015). С. 14.
 43. Розов А.С. Гальванически изолированные периферийные модули для микроконтроллерных платформ // Там же. С. 117.
 44. Розов А.С. Процесс-ориентированное программирование в LabVIEW // Там же. С. 259.
 45. Розов А.С. Унификация работы с прерываниями при разработке DSL для микроконтроллеров // Там же. С. 144.
 46. Сизов М.М. Конфигурируемый вычислитель на базе FPGA для предобработки видеосигналов // Там же. С. 146.
 47. Симанчук А.Э., Атутов С.Н., Валишева Н.А., Микерин С.Л., Плеханов А.И., Сорокин В.А., Якиманский А.В. Нелинейно-оптические свойства хромофорсодержащих полиимидов и электрооптические устройства на их основе // Российская конференция по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника–2015» (г. Новосибирск, Россия, 12–16 октября 2015): тезисы. Новосибирск: ИФП СО РАН, 2015. С. 145.
 48. Суровцев Н.В., Дмитриев А.А. Исследование температурной зависимости коформационных состояний неполярных хвостов синтетических фосфолипидных мембран методом комбинационного рассеяния света // V Сибирский семинар по спектроскопии комбинационного рассеяния света (г. Новосибирск, Россия, 28–30 сентября 2015). С. 79.
 49. Толмачев Н.С., Окотруб К.А. Применение метода КРС для исследования процессов, происходящих в замораживаемых эмбрионах мыши // Там же. С. 21.
 50. Фадеев С.И., Косцов Э.Г., Пиманов Д.О. Моделирование микроэлектромеханических СВЧ резонаторов типа «платформа» // Препринт, РАН. Сибирское отд-ние. Ин-т математики; № 296, 34 с., Новосибирск, 2015.

51. Фатьянов Ф.В. Разработка модуля для решения проблемы искажения на границах движущихся титровальных элементов // 53 Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–17 апреля 2015). С. 16.
52. Фрумин Л.Л., Шапиро Д.А. Возбуждение плазмонов неоднородными волнами: моделирование методом граничных элементов // Международная конференция «Актуальные проблемы вычисл. и прикл. математики – 2015» (г. Новосибирск, Россия, 19–23 октября 2015). Новосибирск: Академиздат, 2015. 186 с. С. 164.
53. Храмцов И.Д. Разработка распределенной системы воспроизведения на видеостене медиапоток на базе графического ускорителя // 53 Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–17 апреля 2015). С. 17.
54. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Potaturkin O.I. Study of hot carrier relaxation in narrow-gap semiconductors with time-resolved terahertz spectroscopy // The XII International Conference Atomic and Molecular Pulsed Lasers – AMPL (Tomsk, Russia, September 14–18, 2015): Abstracts. Tomsk: Publishing House of IAO SB RAS, 2015. P. 123.
55. Babin S.A. New CW and pulsed regimes of Raman fiber lasers and their applications (invited) // Fifth Russian-Chinese Workshop and School for Young Scientists on Laser Physics and Photonics (Novosibirsk, Russia, August 26–30, 2015). Tech. Digest. P. 63–64.
56. Babin S.A. Raman dissipative solitons: A new approach to generate high-energy femtosecond pulses at new wavelengths (invited) // Asia Communications and Photonics Conference – ACP–2015 (Hong Kong, November 19–23, 2015). Tech. Digest, paper AM2C.1.
57. Babin S.A., Dostovalov A.V., Wolf A.A., Parygin A.V. Femtosecond inscription of long-period and fiber Bragg gratings for harsh environment sensors and high power lasers applications // Там же. Paper AM2D.4.
58. Benimetskiy F., Basova T., Parkhomenko R., Kuchyanov A., Plekhanov A. Surface Plasmon Laser based on Au Nanoparticles in a Solution for Visible and Near IR Region // The 7th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP7) (Jerusalem, Israel, May 31 – June 5, 2015). Abstracts of Poster Presentations, Part I (June 4, 2015). P. 43.
59. Chapovsky P.L. Tunneling of open quantum systems: Nuclear spin isomers of molecules // XVIIth International Workshop on Quantum Atomic and Molecular Tunneling in Solids and other Phases (Beatenberg/Interlaken, Switzerland, 31 May – 3 June 2015). Book of Abstracts L-15.
60. Churkin D., Kolokolov I., Podivilov E., Vatnik I., Nukulin M., Vergeles S., Terekhov I., Lebedev V., Falkovich G., Babin S., Turitsyn S. Wave kinetics of random fibre lasers // CLEO/Europe-EQEC 2015 (Munich, Germany, June 21–25, 2015). Tech. Digest, OSA Publ., paper EI-2.2.

61. Churkin D.V. Real-time measurements of spatio-temporal and spectral dynamics in fibre lasers // Photonica 2015 (Belgrade, Serbia, August 24–28, 2015). P. 18.
62. Churkin D.V., Kolokolov I.V., Podivilov E.V., Vatnik I.D., Nikulin M.A., Vergeles S.S., Terekhov I.S., Lebedev V.V., Falkovich G., Babin S.A., Turitsyn S.K. How optical spectrum of random fiber laser is formed // Conference on Lasers and Electro-Optics – CLEO 2015 (San Jose, CA, USA, May 10–15, 2015). Tech. Digest, OSA Publ., paper FW4D.5.
63. Dostovalov V., Wolf A.A., Babin S.A. Direct writing of fiber Bragg gratings through polyimide coating by femtosecond laser pulses at the wavelength of 1026 nm // Progress In Electromagnetics Research Symposium – PIERS 2015 (Prague, Czech Republic, July 6–9, 2015). Abstracts. P. 2043.
64. Dostovalov V., Wolf A.A., Mezentsev V.K., Okhrimchuk A.G., Babin S.A. Nonlinear absorption of femtosecond pulses in fused silica and inscription of refractive index periodic structures in silica fibers // Там же. P. 1303.
65. Fan M., Wang Z., Wu H., Churkin D.V., Li Y., Zhang L., Qian X., Rao Y. High Resolution Optical Time-Domain Reflectometry Based on Correlation Utilizing an All-Fiber Chaotic Source // The 5th Asia Pacific Optical Sensors Conference (Jeju, Korea, May 20–22, 2015). Post-deadline paper W2B-4.
66. Fotiadi A., Lobach I., Megret P. Acoustic and thermal effects in Brillouin random fiber laser // CLEO/Europe-EQEC 2015 (Munich, Germany, June 21–25, 2015). Tech. Digest, OSA Publ. Paper CJ-P.28.
67. Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Apolonski A., Babin S.A. Optimization and coherent combining of Raman dissipative solitons in fiber laser // Там же. Paper CF-P.26.
68. Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Apolonski A.A., and Babin S.A. Generation of Second-Order Raman Dissipative Solitons in a Fiber Laser // 24th International Laser Physics Workshop (LPHYS'15) (Shanghai, China, August 21–25, 2015). Tech. Digest. Paper S8.4.2.
69. Korolkov V.P., Konchenko A.S. Application of specular spectroscopic scatterometry for profile depth measurement at diffractive optics fabrication // EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2015 (Munich, Germany, June 22–25) CD of abstracts.
70. Kostsov E.G. High-speed drive based on energy transformation in nanometer gaps // 5th Annual World Congress of Nano Science and Technology–2015 (Xi'an, China, September 24–26, 2015). Session 401: Nanoelectronics and Nanosystems. Abstract. P. 300.
71. Kuznetsov A.G., Podivilov E.V., Babin S.A. Active Q-switching in Raman fiber laser with random distributed feedback // CLEO/Europe-EQEC 2015 (Munich, Germany, June 21–25, 2015). Tech. Digest, OSA Publ. Paper CJ-P.24.

72. Lavrentiev M.M., Romanenko, A.A., Lysakov K.F. Tsunami Simulation at Modern Hardware Architectures // Тезисы докладов. VII Международная конференция, посв. 115-летию академика М.А. Лаврентьева «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике» (г. Новосибирск, Россия, 7–11 сентября 2015). С. 69–70.
73. Lobach I., Kablukov S., Podivilov E., Fotiadi A., Babin S. Coherent combining of single-mode pulses in a ring cavity // CLEO/Europe-EQEC 2015 (Munich, Germany, June 21–25, 2015). Tech. Digest, OSA Publ. Paper CJ-P.16.
74. Lobach I.A., Kablukov S.I., Melkumov M.A., Khopin V.F., Babin S.A., Dianov E.M. All-fiber Bismuth doped self-sweeping laser // 24th International Laser Physics Workshop (LPHYS'15) (Shanghai, China, August 21–25, 2015). Tech. Digest, paper S8.3.3.
75. Lobach I.A., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Single-frequency self-sweeping fiber lasers // Fifth Russian-Chinese Workshop and School for Young Scientists on Laser Physics and Photonics (Novosibirsk, Russia, August 26–30, 2015). Tech. Digest. P. 71–72.
76. Lobach I.A., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Fotiadi A.A., Babin S.A. Pulse coherence in self-sweeping fiber laser // Conference on Lasers and Electro-Optics – CLEO 2015 (San Jose, CA, USA, May 10–15, 2015). Tech. Digest, OSA Publ. Paper STh4L.4.
77. Nasyrov R.K., Korolkov V.P., Poleshchuk A.G., Semenov A.P., Patrikeev V.E., Abdulkadyrov M.A. Cross-certification of the diffractive corrector by diffractive imitator for Russian 6-m Large Altazimuth Telescope // EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2015 (Munich, Germany, June 22–25). CD of abstracts.
78. Pugachev A.M., Kovalevskii V.I., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Raevski I.P., Raevskaya S.I., Malitskaya M.A. Studies of local inhomogeneities in ferroelectrics by nonlinear spectroscopy and inelastic light scattering // The Second Russia-China Workshop on Dielectric and Ferroelectric Materials Physics (Voronez, Russia, September 11–14, 2015). Abstract book. P. 32.
79. Pugachev A.M., Kovalevskii V.I., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Zaytseva I.V., Raevski I.P., Raevskaya S.I., Malitskaya M.A. Relaxor-like features in pressure-treated barium titanate powder proved by nonlinear spectroscopy and inelastic light scattering // Там же. P. 49.
80. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Kovalevskii V.I., Malinovskii V.K., Surovtsev N.V., Raevski I.P., Raevskaya S.I., Malitskaya M.A. Second harmonic generation and Raman scattering as a tool for the investigation of inhomogeneities in ferroelectrics and relaxors // International Workshop “Modern Nanotechnologies” (IWMN-2015) (Ekaterinburg, Russia, August 27–29, 2015). Abstract book. P. 15.
81. Sugavanam S., Churkin D. Real-time spectral characterization of random fiber lasers using a scanning Fabry Perot interferometer // CLEO/Europe-EQEC 2015 (Munich, Germany, June 21–25, 2015). Tech. Digest, OSA Publ. Paper CJ-P.8.

82. Sugavanam S., El-Taher A., Churkin D., Turitsyn S. Spatio-temporal dynamics of a composite soliton regime in a passively mode locked fiber laser // Там же. Paper CJ-4.2.
83. Sugavanam S., Fabbri S., Le S.T., Lobach I., Kablukov S.I., Khorev S., Churkin D. Real-time heterodyne-based measurements of fiber laser spectral dynamics // Conference on Lasers and Electro-Optics – CLEO 2015 (San Jose, CA, USA, May 10–15, 2015). Tech. Digest, OSA Publ. Paper JTh2A.50.
84. Sugavanam S., Mou C., Peng J., Churkin D. Pulse-to-pulse spectral evolution of breathing bound solitons in a mode-locked fiber laser // Там же. Paper STh3L.2.
85. Sugavanam S., Tarasov N., Wabnitz S., Churkin D. Optical turbulence and polarization rogue waves in experiments and Ginzburg-Landau model of quasi-CW fiber laser // CLEO/Europe-EQEC 2015 (Munich, Germany, June 21–25, 2015). Tech. Digest, OSA Publ., paper EF-P.6.
86. Tarasov N., Sugavanam S., Churkin D. Spatio-temporal dynamics of Raman fibre lasers // Там же. Paper EF-P.29.
87. Terentyev V.S., Simonov V.A. Fiber reflection interferometer in single-mode fiber // 24th annual International Laser Physics Workshop – LPHYS'15 (Shanghai, China, August 21–25, 2015). Tech. Digest. Paper P.S8.1.
88. Timofeev V., Kalish E., Ardyukov D., Valitov M., Timofeev A., Stus Y., Kulinich R., Nosov D., Sizikov I. Gravity observation at continental borderlands (Primorie, Cape Shults, Russia) // International Symposium Asia-Pacific Space Geodynamics (APSG), Project on «Geodetic Datum and Regional and Terrestrial Reference Frame Realization» (Moscow, Russia, 24–28 August 2015). Abstracts of oral presentations. P. 25.
89. Trunov V.I., Poleshchuk A.G., Sedukhin A.G., Frolov S.A., Ivanova K.A. Optimization of Shack-Hartmann sensor parameters for high-resolution measuring beam inhomogeneities of high-power femtosecond lasers // XII International Conference “Atomic and molecular pulsed lasers” (Tomsk, Russia, September 4–18, 2015) Conference Abstracts, C-9,74.
90. Vatnik I., Tikan A., Churkin D., Sukhorukov A. Anderson localization in optical mesh lattices realized in time domain // CLEO/Europe-EQEC 2015 (Munich, Germany, June 21–25, 2015). Tech. Digest, OSA Publ. Paper CD-P.8.
91. Vatnik I.D., Tikan A.M., Churkin D.V., Sukhorukov A.A. Anderson localization in synthetic photonic lattices // Conference on Lasers and Electro-Optics – CLEO 2015 (San Jose, CA, USA, May 10–15, 2015). Tech. Digest, OSA Publ. Paper FTh3D.1.
92. Wang Z.N., Fan M.Q., Wu H., Churkin D.V., Li Y., Zhang L., Yi X.W., Rao Y.J. High Resolution Optical Time-Domain Reflectometry Based on Correlation Utilizing an All-Fiber Chaotic Source // 5th Asia Pacific Optical Sensors Conference – APOS 2015 (Jeju, Korea, May 20–22, 2015). Paper APO15-PO100-105.

93. Wolf A.A., Dostovalov A.V., Babin S.A. Direct writing of long-period and fiber Bragg gratings in specialty fibers by femtosecond laser pulses at the wavelength of 1026 nm // CLEO/Europe-EQEC 2015 (Munich, Germany, June 21–25, 2015). Tech. Digest, OSA Publ., paper CM-4.2.
94. Xu G., Garnier J., Trillo S., Conforti M., Churkin D., Turitsyn S., Picozzi A. Towards a Generalized Weak Langmuir Optical Turbulence // Там же. Paper EI-2.1.
95. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Linearly polarized cascaded random fiber laser with ultimate efficiency // European Conference on Optical Communications – ECOC 2015 (Valencia, Spain, September 27 – October 1, 2015), Tech. Digest. Paper P.1.9.
96. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Linearly Polarized High-Efficiency Cascaded Random Raman Fiber Laser // 24th International Laser Physics Workshop (LPHYS'15) (Shanghai, China, August 21–25, 2015). Tech. Digest. Paper S8.2.3.

СБОРНИКИ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

1. Белоусова О.Н., Зеркаль С.М. Мухина И.Н. Вычислительные алгоритмы решения обратных задач дифракции и фокусирования акустических сигналов. Труды НГАСУ, Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2015, т. 18, № 2 (60). С. 55–67.

АВТОРЕФЕРАТЫ

1. Булушев Е.Д. Разработка алгоритмов и программных средств для определения оптимальных параметров лазерной микрообработки по данным систем технического зрения и оптических профилометров: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Е.Д. Булушев. – Новосибирск, 2015. – 21 с.
2. Ватник И.Д. Мощностные характеристики волоконного ВКР-лазера со случайной распределенной обратной связью: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук / И.Д. Ватник. – Новосибирск, 2015. – 14 с.
3. Достовалов А.В. Создание периодических структур фемтосекундным излучением внутри световодов и на поверхности металлов: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук / А.В. Достовалов. – Новосибирск, 2015. – 18 с.
4. Окотруб К.А. Исследование замораживаемых биологических клеток методом комбинационного рассеяния света: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук / К.А. Окотруб. – Новосибирск, 2015. – 18 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

Патенты

1. Атутов С.Н., Кучьянов А.С., Микерин С.Л., Плеханов А.И. Конфокальный интерферометр Фабри-Перо. Патент на полезную модель № 155202 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2015, № 27.
2. Бабин С.А., Лобач И.А., Каблуков С.И. Волоконный источник однонаправленного одночастотного поляризованного лазерного излучения с пассивным сканированием частоты (варианты). Патент на изобретение № 2566385 // Там же, № 30.
3. Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Горяев Е.П. Устройство для считывания линейных штриховых кодов. Патент на полезную модель № 150406 // Там же, № 5.
4. Бессмельцев В.П., Лоншаков Е.А. Устройство контроля положения плоскости изделия для систем автофокусировки. Патент на полезную модель № 149457 // Там же, № 1.
5. Гибин И.С., Гугучкин В.И., Котляр П.Е. Устройство для визуализации инфракрасного излучения. Патент на изобретение № 2561338. Патентообладатель: ИАиЭ СО РАН // Там же, № 24.
6. Михляев С.В. Способ измерения уровня расплава и его скорости вращения при выращивании кристаллов. Патент на изобретение № 2542292 // Там же, № 5.
7. Полещук А.Г., Хомутов В.Н. Устройство для регистрации индикатрисы рассеяния излучения от контролируемой поверхности. Патент на полезную модель № 157299 // Там же, № 33.
8. Полещук А.Г., Корольков В.П., Шиманский Р.В., Черкашин В.В. Способ изготовления дифракционного оптического элемента (ДОЭ). Патент на изобретение № 2540065 // Там же, № 3.
9. Пен Е.Ф. Компактное устройство записи изобразительных голограмм. Патент на изобретение № 2541732 // Там же, №5.
10. Пен Е.Ф. Устройство записи голограмм. Патент на полезную модель № 155171 // Там же, № 27.
11. Попов Ю.А. Приставка к цифровому вольтметру для измерения токов фемтоамперного диапазона. Патент на полезную модель № 150413 // Там же, № 5.
12. Суровцев Н.В., Рудыч П.Д. Способ прокачки раствора красителя для лазерных резонаторов. Патент на изобретение № 2548620 // Там же, № 11.
13. Титков В.И., Соболев В.С., Уткин Е.Н. Способ определения скорости и определения ветра и некогерентный доплеровский лидар. Патент на изобретение № 2545498 // Там же, № 10.
14. Шелковников В.В., Васильев Е.В., Русских В.В., Эктова Л.В., Пен Е.Ф. Фотополимерные композиции для записи отражательных го-

логграмм в широком спектральном диапазоне. Патент РФ № 2552351 // Там же, № 16.

15. Щербаченко А.М., Соболев В.С. Устройство преобразования сигналов интерферометра для высокоточных измерителей перемещений. Патент на полезную модель № 151073 // Там же, № 8.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

1. Булушев Е.Д., Шоев С.А. Программа для контроля качества прецизионной лазерной микрообработки оптических элементов (формирования сеток, масок, шкал) Profilometer C A18 // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015616114, зарег. 29.05.2015.
2. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Тарасовский А.Н., Храмцов И.Д. Пользовательский интерфейс многофункционального микшер-коммутатора и базовая часть его серверного ядра // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614825, зарег. 28.04.2015.
3. Долговесов Б.С., Городилов М.А., Радостев А.Х. Супервизорный модуль управления видеопотоками для отображения распределенных мультимедийных данных // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619821, зарег. 15.09.2015.
4. Долговесов Б.С., Городилов М.А., Храмцов И.Д. Модуль синхронизации для полиэкраных систем отображения // Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619699, зарег. 10.09.2015.
5. Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Макеев И.В. Модуль взаимодействия с контроллером датчиков и пользовательский интерфейс приложения для мобильного мониторинга параметров жизнедеятельности пациента // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015610559, зарег. 13.01.2015.
6. Катасонов Д.Н. Программа-архиватор электрокардиосигнала, получаемого емкостными бесконтактными сенсорами Комета 3.5 // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015660701, зарег. 06.10.2015.
7. Катасонов Д.Н., Вилейко В.В. Программа управления беспроводным емкостным сенсором ЭКС VVVSensor // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015619705, зарег. 10.09.2015.
8. Киричук В.С., Шакенов А.К. Программа моделирования изображений, регистрируемых матричным фотоприемником в режиме микросканирования // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619704 зарег. 10.09.2015.
9. Корольков В.П., Шиманский Р.В. Программное обеспечение для управления комплексом устройств в составе интерферометра, захвата оцифрованных интерферограмм и их математической обработки в ин-

- терактивном режиме. Свидетельство на программу для ЭВМ № 2015613757, зарег. 25.03.2015.
10. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «ВОБУЛА15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614931, зарег. 29.04.2015.
 11. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «МИМПУВ15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015615060, зарег. 07.05.2015.
 12. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «МОД-М15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614932, зарег. 10.09.2015.
 13. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «Т-МАТР15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619702, зарег. 10.09.2015.
 14. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «М-ФЛТР15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619703, зарег. 10.09.2015.
 15. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «М-СДВИГ15» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619706, зарег. 10.09.2015.
 16. Родионов М.Ю. Программный пакет для автоматического подбора параметров при расчёте селективных свойств неоднородных голограмм // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015661630, зарег. 02.11.2015.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ

1. Лихачев А.В. Методы математического моделирования процессов и систем. Учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. Ардюков Д.Г., Калиш Е.Н., Носов Д.А., Сизиков И.С., Смирнов М.Г., Стусь Ю.Ф., Тимофеев В.Ю., Кулинич Р.Г., Валитов М.Г. Измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести на мысе Шульца // Гироскопия и навигация, 2015, № 3 (90). С. 13–18. <http://www.elektropribor.spb.ru/gn>. ISSN 2075-0927.
2. Борзов С.М., Козик В.И., Шараборин Д.К. Дистанционный контроль устойчивости горения углеводородо-воздушных смесей [Электронный ресурс] // Материалы IX Всероссийской конференции с международным участием «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 ноября 2015). Новосибирск: ИТ СО РАН. Режим доступа: http://www.itp.nsc.ru/conferences/gt-2015/Files/D1_P5.pdf

3. Борзов С.М., Пестунов И.А., Потатуркин О.И. Обработка гиперспектральных спутниковых изображений при исследовании природных и антропогенных объектов [Электронный ресурс] // Всероссийская конференция «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (с. Усть-Сема, Республика Алтай, Россия, 24–28 августа 2015). Режим доступа: <http://conf.nsc.ru/SDM-2015/ru/reportview/273876>
4. Борзов С.М., Пестунов И.А., Потатуркин О.И. Тематическая обработка гиперспектральных изображений при исследовании природных и антропогенных объектов [Электронный ресурс] // Там же. С. 8–15. Режим доступа: <http://conf.nsc.ru/files/conferences/SDM-2015/294652/SDM-2015%20Thesis.pdf>
5. Борзов С.М., Узилов С.Б. Разработка и исследование программно-алгоритмических средств анализа мультиспектральных изображений для обнаружения слабо-различимых антропогенных изменений растительного покрова [Электронный ресурс] // Там же. С. 48–53. Режим доступа: <http://conf.nsc.ru/files/conferences/SDM-2015/294652/SDM-2015%20Thesis.pdf>
<http://conf.nsc.ru/SDM-2015/ru/reportview/273053>
6. Ильичёв Л.В., Чаповский П.Л. Оптическая имитация контроля межатомного взаимодействия в конденсате // Всероссийская конференция «Физика ультрахолодных атомов» (г. Новосибирск, Россия, 21–22 декабря 2015). Программа конференции: http://ousnano.sbras.ru/userfiles/file/UltraColdAtoms_2015.pdf
7. Лиханова Ю.В., Медведев С.Б., Федорук М.П., Чаповский П.Л. Взаимодействие двух фракций в вырожденном бозе-газе при конечных температурах // Там же. Программа конференции: http://ousnano.sbras.ru/userfiles/file/UltraColdAtoms_2015.pdf
8. Томилин В.А., Ильичёв Л.В. Динамика атомарного конденсата в двойной яме при интерферометрическом зондировании с обратной связью // Там же. Программа конференции: http://ousnano.sbras.ru/userfiles/file/UltraColdAtoms_2015.pdf
9. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Potaturkin O.I. Soft Mode Behavior in Lead Germanate Studied by Terahertz Time-Domain Spectroscopy [Электронный ресурс] // Abstracts of 40th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves - IRMMW-THz 2015 (Hong Kong, August 23-28, 2015). Hong Kong. Режим доступа: https://drive.google.com/folderview?id=0B-Z_qeEXDuTOfmlyUTlIaaDNtYUxSMkVpQS1Fb0xIRIBfRmE3N2lyT2JiZVYzWUplSHILcTQ&usp=sharing (MS - 3133712)
10. Ardyukov D.G., Kalish E.N., Nosov D.A., Sizikov I.S., Smirnov M.G., Stus Yu.F., Timofeev V.Yu., Kulinich R.G., and Valitov M.G. Absolute Gravity Measurements at Shults Cape // Gyroscopy and Navigation, 2015, v. 6, № 4. P. 260–264. Pleiades Publishing, Ltd., 2015. <http://www.elektropribor.spb.ru/en/egn.html>. ISSN 2075-1109.

11. Babin S.A., Podivilov E.V., Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Fedoruk M.P., Shtyrina O.V., Kalashnikov V.L., Apolonski A. SRS-driven evolution of dissipative solitons in fiber lasers. P. 277–314 // Chapter in Book “Nonlinear Optical Cavity Dynamics”, ed. by Philippe Grelu, Wiley VCH Verlag GmbH, 458 p., 2015.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527686476.ch12/summary>
12. Galanzha E.I., Weingold R., Nedosekin D.A., Sarimollaoglu M., Kuchyanov A.S., Parkhomenko R.G., Plekhanov A.I., Stockman M.I., Zharov V.P. Spaser as Novel Versatile Biomedical Tool. arXiv: 2015-501.00342
13. Korolkov V.P., Verhoglyad A.G., Kokarev S.A., Kastorsky L.B., Zavyalova M.A., Poleshchuk A.G., Mironnikov N.G., Kachkin A.E., Shimensky R.V., Derevyanko D.I., Shelkovnikov V.V. Laser systems and technologies for manufacturing of micro-optical and diffractive elements on spherical surfaces // EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2015 (Munich, Germany, June 22–25).
https://www.conftool.com/wpc2015-eosconferences/index.php?page=browseSessions&form_session=3
14. Poleshchuk A.G., Asfour J.-M., Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Frank W. Measurement of aspheric and freeform optical surfaces with Diffractive Null Lenses with and without integrated Fizeau reference surface // EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2015 (Munich, Germany, June 22–25).
https://www.conftool.com/wpc2015-eosconferences/index.php?page=browseSessions&print=head&form_session=22
15. Sanchez F., Komarov A., Grelu Ph., Salhi M., Komarov K., Leblond H. Collective dissipative soliton dynamics in passively mode-locked fiber lasers. P. 231–262 // In the book “Nonlinear optical cavity dynamics: from microresonators to fiber lasers” edited by Philippe Grelu. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 325 p.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527686476.ch10/summary>
16. Vyatkin S.I., Romanyuk S.A. Separation of the complex task of planning streaming multiprocessors into several simpler warp schedulers // Материалы международной конференции «IEEE Sibcon 2015» (г. Омск, Россия, 21–23 мая 2015).
<http://conf.sfu-kras.ru/sibcon/participants/1226>

ПУБЛИКАЦИИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В ОТЧЕТ 2014 ГОДА

СТАТЬИ

Научные журналы

1. Достовалов А.В., Вольф А.А., Бабин С.А. Поточечная запись ВБР первого и второго порядка через полиимидное покрытие фемтосе-

кундным излучением с длиной волны 1026 нм // Прикладная фотоника, 2014, т. 1, № 2. С. 48–61.

2. Vyatkin S.I. An Interactive System for Modeling, Animating and Rendering of Functionally Defined Objects // American Journal of Computer Science and Engineering Survey, 2014, v. 2, iss. 3. P. 102–108.

АВТОРЕФЕРАТЫ

1. Комаров А.К. Динамика формирования и взаимодействия ультракоротких импульсов в лазерах с пассивной синхронизацией мод: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. доктора. физ.-мат. наук / А.К. Комаров. – Новосибирск, 2014. – 45 с.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N., Dudnyk O.O. Tile based rendering technology [Электронный ресурс] // Збірник матеріалів Міжнародної науково – практичної Інтернет – конференції (Вінниця, Україна, грудень 2014 року). С. 6–11. Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/0B1ZDWosDI6cvVXJ1SVIBSINwOWM/view?pli=1>
2. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N., Romanyuk S.A., Velichko P.O. Function-based technology of visualization // Там же. С 12–19. Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/0B1ZDWosDI6cvVXJ1SVIBSINwOWM/view?pli=1>
3. Vyatkin S.I., Romanyuk S.A., Melnik A.V. Texture mapping on curvilinear surfaces // Там же. С. 20–29. Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/0B1ZDWosDI6cvVXJ1SVIBSINwOWM/view?pli=1>
4. Vyatkin S.I., Romanyuk A. N., Pavlov S.V. Shadows generation using geometry shaders // Там же. С. 30–37. Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/0B1ZDWosDI6cvVXJ1SVIBSINwOWM/view?pli=1>
5. Вяткин С.И. Романюк А.Н., Величко П.А., Полищук А.В. Эффективные области применения объемной визуализации // Там же. С. 101–104. Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/0B1ZDWosDI6cvVXJ1SVIBSINwOWM/view?pli=1>
6. Вяткин С.И., Романюк О.В., Величко П.А. Численный метод для анимации трехмерных объектов // Там же. Режим доступа: <http://www.rusnauka.com/>
http://www.rusnauka.com/30_PERNR_2014/List.htm
http://www.rusnauka.com/30_PERNR_2014/Informatica.htm
7. Вяткин С.И., Романюк С.А., Полищук А.В. Особенности анимации трехмерных объектов с применением итерационных методов // Mate-

riály X mezinárodní vědecko – praktická Konference «přední vědecké novinky – 2014» (27 srpna – 05 září 2014 roku). Современные информационные технологии. Praha Publishing House «Education and Science» s.r.o. 2014. Режим доступа: http://www.rusnauka.com/http://www.rusnauka.com/30_PERNR_2014/List.htm
http://www.rusnauka.com/30_PERNR_2014/Informatica.htm

8. Романюк О. Н., Даньковська О.В., Вяткін С. І. Аналіз архітектур відеокарт компанії nvidia // Там же. С. 262–274. Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/0B1ZDWosDI6cvVXJ1SVIBSINwOWM/view?pli=1>
9. Романюк О.В., Романюк О.Н., Вяткін С. І. Підвищення продуктивності та функціональних можливостей direct12 // Там же. С. 275–279. Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/0B1ZDWosDI6cvVXJ1SVIBSINwOWM/view?pli=1>



**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ
И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СО РАН**

Россия, 630090, Новосибирск, пр. акад. Колтуга, 1
тел.: (383) 330-79-69, факс: (383) 330-88-78,
e-mail: iae@iae.nsk.su; [http // www.iae.nsk.su](http://www.iae.nsk.su)