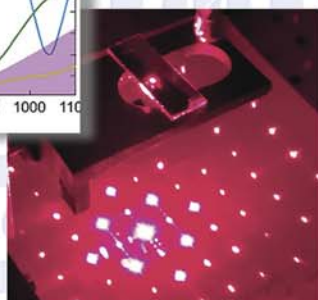
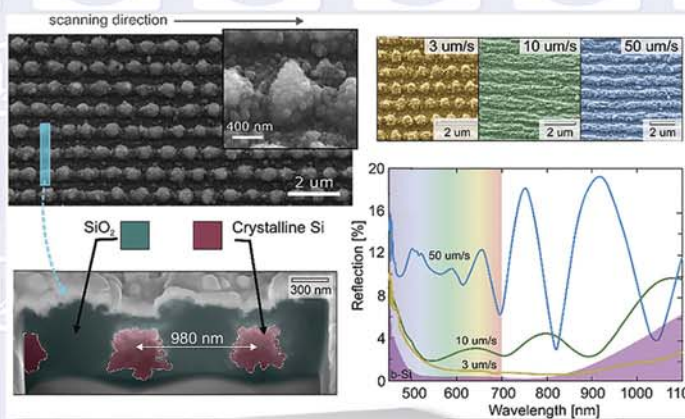


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук
ИАиЭ СО РАН



Институт автоматики и электрометрии

в 2021 году



Отчет о деятельности

Новосибирск

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук
ИАиЭ СО РАН

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
в 2021 году

Отчет о деятельности

НОВОСИБИРСК

2022

УДК 535 + 538.9 + 539.1 + 621.391 + 681.5 + 681.7+004.3

ББК 22.34+22.38+32.81+32.965+22.34+73

И-69

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

Ответственный за выпуск
Учёный секретарь, к.ф.-м.н. Е.И. Донцова

ISBN 978-5-6047889-9-8

© ИАиЭ СО РАН, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ТЕМАТИКИ НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ	5
1. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2021 ГОДУ	8
2. ПРОЕКТЫ ГОСЗАДАНИЯ ИНСТИТУТА	23
3. РФФИ, РНФ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ	84
4. ПРИКЛАДНЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОЕКТЫ	86
5. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	90
5.1. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН.....	90
5.2. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, КАДРЫ, ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ.....	90
5.3. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ.....	93
5.4. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ.....	94
5.5. НАГРАДЫ.....	97
6. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН в 2021 г.	100
6.1. МОНОГРАФИИ.....	100
6.2. СТАТЬИ.....	101
6.3. МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ.....	115
6.4. АВТОРЕФЕРАТЫ.....	141
6.5. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ.....	141
6.6. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ.....	142
6.7. НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ СТАТЬИ И СБОРНИКИ.....	142
6.8. ПУБЛИКАЦИИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В ОТЧЕТ 2020 ГОДА.....	143

ВВЕДЕНИЕ

Научные исследования в 2021 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, диагностики, прецизионные измерения;*

- *архитектура, системные решения, математические модели и программно-алгоритмическое обеспечение информационно-вычислительных комплексов восприятия, анализа, отображения информации и систем управления сложными динамическими процессами*

в рамках проектов госзадания ИАиЭ СО РАН, грантов и договорных работ.

Всего по указанным выше направлениям выполнялось 14 базовых проектов госзадания в соответствии с утверждёнными Планами НИР на отчётный период (из них 10 – по направлению «Оптика (включая лазерную оптику и квантовую оптику)» и 4 – по направлению «Компьютерные, информационные науки и биоинформатика»). Отчетный 2021 год был заключительным по 2 проектам госзадания молодёжных лабораторий и промежуточным по 12 остальным.

Ученые Института в 2021 г. вели работы в рамках 14-ти проектов по грантам РНФ и РФФИ, а также в рамках 66-ти договоров, не считая безфинансовых соглашений. Традиционно ведётся работа с вузами и предприятиями Новосибирской области в рамках образовательных процессов и прикладных работ соответственно.

В 2021 г. была получена *государственная премия Новосибирской области* за разработку и внедрение в эксплуатацию комплекса оптического спектрального оборудования для высокоинформативного аналитического контроля материалов атомной промышленности. Также получены награды молодыми учёными Института в рамках региональных конкурсов, звания Заслуженный ветеран СО РАН – опытными сотрудниками.

По результатам работ сотрудников научных подразделений Института опубликовано 434 научных материала, в том числе 190 статей, из них 157 - высокорейтинговых статей (WoS/Scopus), 2 из которых заняли лидирующие позиции по запросам в журналах (JOSA B, статья «Noise-like pulses with an extremely broadband spectrum in passively mode-locked fiber lasers» и

OSA Continuum, статья «Brightness enhancement and beam profiles in an LD-pumped graded-index fiber Raman laser»).

Институт принимал участие в работе конференций, выставочной и образовательной деятельности. Продолжались работы над *Проектом Центра оптических информационных технологий и прикладной фотоники (ЦО-ИТиПФ)* в рамках программы Академгородок 2.0.

Отчет подготовлен на основе материалов, представленных научными лабораториями, административными и вспомогательными подразделениями и службами Института, а также отчётных сведений, подаваемых в Минобрнауки РФ, сведений для систем мониторинга научно-исследовательской деятельности. В нем кратко приведены наиболее важные научные и научно-технические результаты, полученные при выполнении исследований в 2021 г. Изложены основные направления базовых научно-исследовательских проектов, приведены общие показатели и список публикаций сотрудников Института за отчётный год.

ТЕМАТИКИ НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ (ЛАБОРАТОРИИ, ТЕМАТИЧЕСКИЕ ГРУППЫ)

- (01): Физики лазеров** – *С.Л. Микерин, к.ф.-м.н.*
Physics of Lasers – *S.L. Mikerin, Ph. D.*
- (01-1): Газоанализа** – *А.А. Аполонский, к.ф.-м.н.*
Gas analysis – *A.A. Apolonski, Ph. D.*
- (02): Нелинейной спектроскопии газов** – *А.М. Шалагин, академик, 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. Суворцев, чл.-корр. РАН, проф. РАН*
Condensed matter spectroscopy – *N.V. Surovtsev, Corr. Mem. of RAS, Prof.*
- (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): Трёхмерных лазерных технологий** – *д.т.н. П.Е. Твердохлеб, проф.*

3D laser technologies – *P.E. Tverdokhle, Dr. Sci., Prof.*

- (06): **Дифракционной оптики** – *Насыров Р.К., к.т.н.*
Diffractive Optics – *R.K. Nasyrov, Ph. D.*
- (07): **Лазерной графики** – *В.П. Бессмельцев, к.т.н.*
Laser Graphics – *V.P. Bessmeltsev, Ph. D.*
- (07-1): **Лазерной гравиметрии** – *Д.А. Носов.*
Laser gravimetry – *D.A. Nosov.*
- (08): **Тонкопленочных сегнетоэлектрических структур** – *А.А. Соколов, к.ф.-м.н.*
Thin-Film Ferroelectric Structures – *E.G. Kostsov, Ph. D.*
- (09): **Нечетких технологий** – *К.Ю. Котов, к.т.н.*
Fuzzy Technologies – *K.Yu. Kotov, Ph. D.*
- (10): **Цифровых методов обработки изображений** – *В.П. Косых, к.т.н.*
Digital Methods for Image Processing – *V.P. Kosykh, Ph. D.*
- (10-1): **Информатики и прикладной математики** – *А.В. Лухачев, д.т.н.*
Informatics and Applied Mathematics – *A.V. Likhachev, Dr. Sci.*
- (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., проф.*
Software Systems for Computer Graphics – *M.M. Lavrentyev, Dr. Sci., Prof.*
- (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.*
- (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 С.Н.
И.С. Гибин, д.т.н.
Simulation Stands – I.S. Gibin, *Dr. Sci.*
- (15-4): Терагерцовой фотоники** – *Н.А. Николаев, к.т.н.*
Terahertz Photonics – *N.A. Nikolaev, Ph. D.*
- (16): Интегрированных информационных систем управления** –
А.В. Кирьянов, к.т.н.
Integrated Informational Control Systems – *A.V. Kiryanov, Ph. D.*
- (17): Волоконной оптики** – *С.А. Бабин, чл.-корр. РАН*
Fiber Optics – *S.A. Babin, Corr. Mem. of RAS*
- (18): Оптических сенсорных систем** – *С.И. Каблуков, д.ф.-м.н., проф. РАН*
Optical Sensing Systems – *S.I. Kablukov, Ph. D., Prof. of RAS*
- (19): Киберфизических систем** – *В.Е. Зюбин, д.т.н.*
Cyber-Physical Systems – *V.E. Zyubin, Dr. Sci.*
- (19-1): Нейронных сетей** – *А.В. Кугаевских, к.т.н.*
Neural networks – *A.V. Kugaevskikh, Ph. D.*

1. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО– ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2021 ГОДУ

В 2021 г. Ученым Советом ИАиЭ СО РАН признаны важнейшими 8 результатов.

In 2021, eight results were recognized by the Scientific Council of the Institute of Automation and Electrometry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences as the most important results.

1.1. Наноструктурирование поверхности аморфного и кристаллического кремния фемтосекундными лазерными импульсами Surface nanostructuring of amorphous and crystalline silicon by femtosecond laser pulses

*Авторы: Бронников К.А.¹, Достовалов А.В.¹, Терентьев В.С.¹, Корольков В.П.¹,
Бабин С.А.¹; Мицай Е.В.², Непомнящий А.В.², Жижченко А.Ю.²,
Черепяхин А.Б.², Кучмижак А.А.²; Мироненко А.Ю.³*

¹*Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск (ИАиЭ СО РАН, Новосибирск)*

²*Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН)*

³*Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИХ ДВО РАН)*

*Authors: Bronnikov K.A.¹, Dostovalov A.V.¹, Terentyev V.S.¹, Korolkov V.P.¹,
Babin S.A.¹; Mitsai E.V.², Nepomniaschiy A.V.², Zhizhchenko A.Yu.²,
Cherepakhin A.B.², Kuchmizhak A.A.²; Mironenko A.Yu.³*

¹*Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (IA&E SB RAS)*

²*Institute of Automation and Control Processes, Russian Academy of Sciences, Far Eastern Branch (IACP FEB RAS)*

³*Institute of Chemistry, Russian Academy of Sciences, Far Eastern Branch (IC FEB RAS)*

Продемонстрировано формирование решеток с субволновым периодом на поверхности аморфного (*a*-Si) и кристаллического (*c*-Si) кремния лазерными фс импульсами с длиной волны 1026 нм при латеральном сканировании поверхности образцов. В случае пленок *a*-Si впервые получен новый тип структур – гексагональная решетка конусообразных выступов SiO₂ с периодом ~980 нм, чередующихся с подповерхностными включениями поликристаллической фазы Si (рис. 1.1, *a–в*), – что позволило существенно изменить оптические свойства пленки (снижение коэффициента отражения с ~50 % до <2 % в видимом диапазоне (рис. 1.1, *г*) [1]. Впервые продемонстрировано применение лазерно-индуцированных структур для повышения чувствительности метода флуоресцентной спектроскопии на два порядка по сравнению со стандартными подходами измерения концентрации аналита. Достигнут режим лазерно-индуцированной кристаллизации пленки *a*-Si без изменения исходной морфологии поверхности при скорости сканирования

1 мм/с (рис. 1.1, д) [2, 3]. Для *c*-Si разработана методика создания массива углублений с периодом 450 ± 5 нм и аспектным соотношением, равным 8, путем использования покрывающей пленки гафния толщиной 20 нм, обеспечивающей эффективное возбуждение поверхностных плазмонов (рис. 1.1, е, ж) [4].

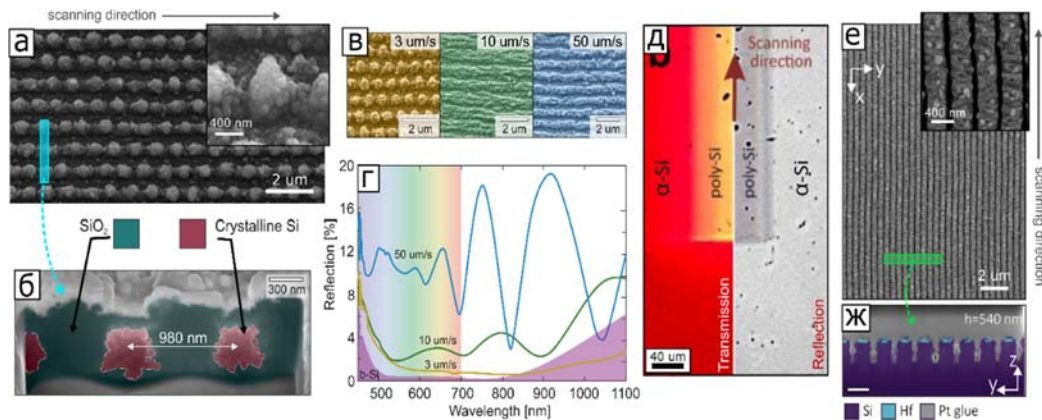


Рис. 1.1. *a* – микрофотографии гексагональной решетки микроконусов, записанной на пленке *a*-Si толщиной 370 нм, и *б* – поперечного выреза данной структуры; *в* – микрофотографии структур, записанных на пленке *a*-Si при различных скоростях сканирования, *г* – спектры отражения соответствующих структур; *д* – оптические снимки в проходящем и отраженном свете области лазерно-индуцированного поликристаллического кремния; *е* – микрофотографии решетки, записанной на пластине *c*-Si, покрытой 20 нм слоем Hf и *ж* – поперечного выреза данной решетки

Fig. 1.1. (a) Scanning electron microscopy (SEM) images of the hexagonal lattice of microcones fabricated on the *a*-Si film with a thickness of 370 nm, and (b) cross-sectional cut of this structure; (c) SEM image of structures formed on the *a*-Si film at different scanning rates, (d) reflection spectra of the corresponding structures; (e) optical images in transmission and reflection modes of laser-induced polycrystalline silicon; (f) SEM images of the grating fabricated on the *c*-Si wafer covered by a 20-nm thick Hf layer and (g) cross-sectional cut of this structure

The formation of gratings with a subwavelength period on the surface of amorphous (*a*-Si) and crystalline (*c*-Si) silicon by fs laser pulses with a wavelength of 1026 nm during lateral scanning of the sample surface was demonstrated. In the case of *a*-Si films, a new type of structures was obtained for the first time – a hexagonal lattice of SiO₂ cone-shaped protrusions with a period of ~980 nm alternating with subsurface inclusions of the polycrystalline Si phase (Fig. 1.1, *a-c*), which allowed the optical properties of the film to be significantly changed (reduction of the reflection coefficient from ~50 % to <2 % in the visible range (Fig. 1.1, *d*) [1]. For the first time, the use of laser-induced structures for increasing the sensitivity of the fluorescence spectroscopy method by two orders

of magnitude, compared to standard approaches to measuring the analyte concentration, was demonstrated. The regime of laser-induced crystallization of the *a*-Si film was achieved without changing the initial surface morphology at a scanning speed of 1 mm/s (Fig. 1.1, *e*) [2, 3]. For *c*-Si, a technique was developed for creating an array of trenches with a period of 450 ± 5 nm and an aspect ratio of 8 by using a hafnium coating film with a thickness of 20 nm, which ensures effective excitation of surface plasmons (Fig. 1.1, *f, g*) [4].

Публикации/References:

1. Dostovalov A., Bronnikov K., Korolkov V., Babin S., Mitsai E., Mironenko A., Tutov M., Zhang D., Sugioka K., Maksimovic J., Katkus T., Juodkazis S., Zhizhchenko A., and Kuchmizhak A. Hierarchical anti-reflective laser-induced periodic surface structures (LIPSSs) on amorphous Si films for sensing applications // *Nanoscale*. – 2020. – Vol. 12, is. 25. – P. 13431–13441. – DOI 10.1039/D0NR02182B.
2. Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Cherepakhin A., Mitsai E., Nepomniaschiy A., Kulinich S.A., Zhizhchenko A., Kuchmizhak A. Large-scale and localized laser crystallization of optically thick amorphous silicon films by near-IR femtosecond pulses // *Materials*. – 2020. – Vol. 13, is. 22. – P. 5296 (P. 1–10). – DOI 10.3390/ma13225296.
3. Mitsai E., Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Nepomniaschiy A.V., Zhizhchenko A.Yu., Kuchmizhak A. Crystallization of optically thick amorphous silicon films by near-Ir femtosecond laser processing // *Solid state phenomena*. – 2020. – Vol. 312. – P. 134–139 – DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.312.134.
4. Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Terentyev V.S., Babin S.A., Kozlov A., Pustovalov E., Gurevich E.L., Zhizhchenko A., Kuchmizhak A. Uniform subwavelength high-aspect ratio nanogratings on metal-protected bulk silicon produced by laser-induced periodic surface structuring // *Applied physics letters*. – 2021. – Vol. 119, is. 21. – P. 211106 (7 p.). – DOI 10.1063/5.0075045.

1.2 Новые эффекты в конверсии ядерных спиновых изомеров молекул воды

Novel effects in conversion of nuclearspin isomers of water molecules

Авторы: Мамрашев А.А., Чаповский П.Л.

Authors: Mamrashev A.A., Chapovsky P.L.

Молекулы воды чрезвычайно важны для фундаментальной науки и техники. В природе молекулы воды существуют в виде ядерных спиновых изомеров, орто-Н₂О и пара-Н₂О, различающихся взаимной ориентацией спинов ядер водорода. В серии теоретических исследований предсказаны новые физические эффекты для изомеров молекул воды. Объяснено существование неисчезающей фракции орто-Н₂О внутри фуллерена С₆₀ при охлаждении [1]. Предсказана высокая стабильность изомеров, например при комнатной температуре и давлении 5 торр время их жизни составляет 18 часов [2]. Предсказано аномальное ускорение конверсии изомеров (в

~ 260 раз) в колебательно-возбужденном состоянии $2\nu_2$ по сравнению с основным состоянием [3]. Предсказан значительный изотопный эффект в конверсии молекул H_2^{17}O при низких температурах (рис. 1.2). Ускорение конверсии в колебательно-возбужденных состояниях можно применить для создания нового метода обогащения изомеров молекул воды лазерным излучением. Предсказанные новые эффекты в конверсии изомеров молекул воды могут найти применение в астрофизике и технологиях ядерного магнитного резонанса.

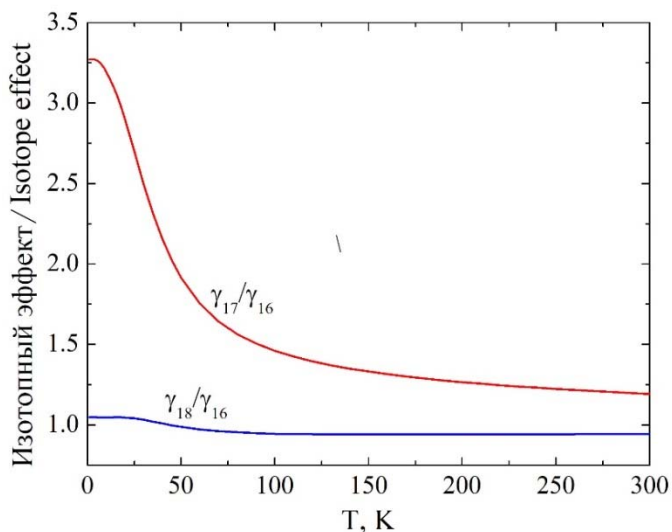


Рис. 1.2. Температурная зависимость изотопного эффекта (отношения скоростей конверсии γ) в конверсии ядерных спиновых изомеров молекул H_2^{17}O и H_2^{18}O .

Fig. 1.2. Temperature dependence of the isotope effect (ratio of conversion rates γ) in conversion of nuclear spin isomers of H_2^{17}O and H_2^{18}O molecules

Water molecules are extremely important for fundamental science and technology. Water molecules exist in nature in the form of nuclear spin isomers, ortho- H_2O , and para- H_2O , which differ in the mutual orientation of the spins of their hydrogen nuclei. Novel effects for the isomers of water molecules are predicted in a series of theoretical studies. The existence of a non-vanishing fraction of ortho- H_2O inside the C_{60} fullerene at low temperatures is explained [1]. High stability of water isomers is predicted, for example, their lifetime is 18 hours at room temperature and a pressure of 5 torr [2]. Anomalous acceleration (by ~260 times) of isomer conversion is predicted in the vibrationally excited state $2\nu_2$ compared to the ground state [3]. A considerable isotope effect is predicted in conversion of H_2^{17}O molecules at low temperatures (Fig. 1.2). Acceleration of conversion in vibrationally excited states can be used for the development of a new method of enrichment of water isomers by laser radiation. Predicted new effects

in conversion of water isomers can find applications in astrophysics and nuclear magnetic resonance technology.

Публикации/References:

1. Чаповский П.Л., Мамрашев А.А. Аномальное орто/пара отношение ядерных спиновых изомеров H₂O при низких температурах // Письма в ЖЭТФ. – 2020. – Т. 111, № 1/2. – С. 75–79. – DOI 10.31857/S0370274X20020046.
2. Chapovsky P.L., Mamrashev A.A. Nuclear spin conversion in H₂O revisited // Physical review A. – 2021. – Vol. 104. – P. 052816 (7 pp.). – DOI 10.1103/PhysRevA.104.052816.
3. Мамрашев А.А., Чаповский П.Л. Ускорение конверсии ядерных спиновых изомеров молекул воды при их колебательном возбуждении // Письма в ЖЭТФ. – 2021. – Т. 114, № 9/10. – С. 699–703. – DOI: 10.31857/S1234567821220122.

1.3. Механизм увеличения яркости пучка при ВКР-генерации в многомодовом градиентном световоде с диодной накачкой

Mechanism of brightness enhancement in multimode LD-pumped graded-index fiber Raman lasers

Авторы: Кузнецов А.Г.¹, Подвиллов Е.В.¹, Вольф А.А.¹, Немов И.Н.¹, Каблуклов С.И.¹, Бабин С.А.¹; Сидельников О.С.², Федорук М.П.², Вабниц С.²

¹Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск)

²Новосибирский государственный университет (НГУ, г. Новосибирск)

Authors: Kuznetsov A.G.¹, Podivilov E.V.¹, Wolf A.A.¹, Nemov I.N.¹, Kablukov S.I.¹, Babin S.A.¹, Sidelnikov A.S.², Fedoruk M.P.², Wabnitz S.²

¹Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (IA&E SB RAS, Novosibirsk)

²Novosibirsk State University (NSU, Novosibirsk)

Продемонстрировано ВКР-преобразование сильно-многомодового излучения диодной накачки с улучшением параметра качества пучка M^2 с ~ 30 до ~ 2 и 1.3 для 1 и 2 стоксова порядка соответственно, а яркость генерируемого пучка по сравнению с накачкой увеличивается в 73 раза (рекордное значение для лазеров данного типа) при выходной мощности >50 Вт на 976 нм [1–3]. При этом профиль пучка накачки до порога генерации соответствует профилю градиентного световода (ГС), а выше порога в его центральной области формируется провал с шириной значительно большей ширины стоксовых пучков, форма которых близка к гауссовой и практически не меняется с ростом мощности [4].

Построена модель связанных мод с учетом основных физических процессов в ВКР-лазере [5]. Сравнение с экспериментом показало, что помимо процесса ВКР на формирование стоксова пучка принципиальное влияние оказывают эффекты случайной и нелинейной связи поперечных мод

при его распространении в 1-км ГС, а также селективное по модам отражение от выходной ВБР, записанной фс-импульсами в приосевой области ГС, а на пучок накачки эти эффекты оказывают слабое влияние. В результате впервые описан эффект увеличения интенсивности стоксова пучка по сравнению с накачкой (рис.1.3) [6].

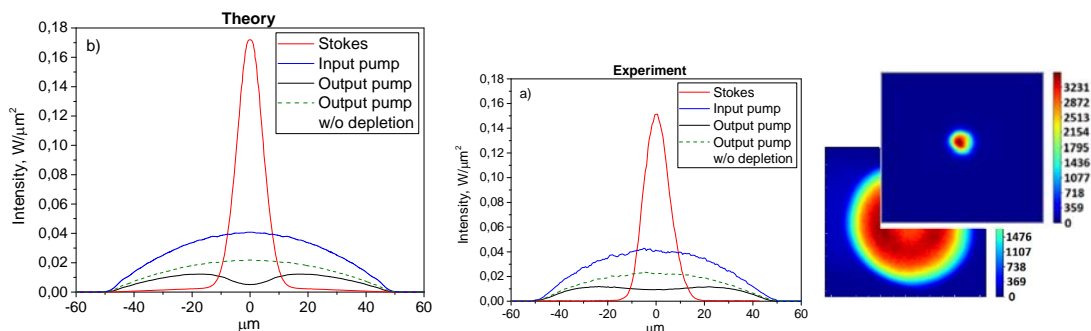


Рис. 1.3. Профили пучков генерируемого стоксова излучения (красный) и накачки (на входе – синий, на выходе – черный, без учета истощения – шриховой) многомодового ВКР-лазера с ГВС в теории и в эксперименте вместе с поперечными сечениями пучков стоксова излучения (вверху) и накачки (внизу).

Fig. 1.3. Profiles of the generated Stokes radiation beams (red) and pump beam (blue at the input, black at the output, and a dotted line – without the effect of wave depletion) of a multimode GIF Raman laser in the theory and experiment, together with the cross sections of the Stokes (top) and pump (bottom) radiation beams

Raman conversion of highly multimode diode-pump radiation is demonstrated with an improvement in the beam quality parameter M^2 from ~ 30 to ~ 2 and 1.3 for the 1st and 2nd Stokes orders, respectively, and the brightness of the generated beam increases by a factor of 73 compared to pumping (a record value for lasers of this type) at an output power of >50 W at 976 nm [1–3]. In this case, the profile of the pump beam up to the lasing threshold corresponds to the profile of the graded index fiber (GIF); above the threshold, in its central region, a dip is formed with a width much larger than the width of the Stokes beams whose shape is close to the Gaussian beam and practically does not change with increasing power [4].

An analytical model of coupled modes is constructed taking into account the main physical processes in the Raman laser [5]. A comparison with the experiment showed that, in addition to the SRS process, the formation of a Stokes beam is fundamentally affected by the effects of random and nonlinear coupling of transverse modes during its propagation in a 1-km GIF, as well as mode-selective reflection from the output FBG recorded by fs pulses in the axial region of the GIF, and these effects have little influence on the pump beam. As a result, the effect of an increase in the intensity of the Stokes beam compared to the pump wave was described for the first time (Fig. 1.3) [6].

Публикации/References:

1. Babin S.A., Kuznetsov A.G., Sidelnikov O.S., Wolf A.A., Nemov I.N., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Wabnitz S. Spatio-spectral beam control in multimode diode-pumped Raman fibre lasers via intracavity filtering and Kerr cleaning // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11, is. 1. – P. 21994. – DOI 10.1038/s41598-021-01491-0.
2. Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Brightness enhancement and beam profiles in an LD-pumped graded-index fiber Raman laser // *OSA Continuum*. – 2021. – Vol. 4, is. 3. – P. 1034–1040. – DOI 10.1364/OSAC.421985.
3. Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Evmenova E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Cascaded generation in multimode diode-pumped graded-index fiber Raman lasers // *Photonics*. – 2021. – Vol. 8, is. 10. – P. 447. – DOI 10.3390/photonics8100447.
4. Babin S.A., Kuznetsov A.G., Sidelnikov O.S., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Wabnitz S. Mechanism of brightness enhancement in multimode LD-pumped graded-index fiber Raman lasers // *Advanced Solid State Lasers (ASSL.LAC)*, October 3–7, 2021, Washington, US (OSA Technical digest). – 2021. – P. JM3A (2 p.).
5. Кузнецов А.Г., Каблуков С.И., Подивилов Е.В., Бабин С.А. Исследование пространственных характеристик выходного пучка каскадного ВКР-лазера с многомодовой диодной накачкой // *Квантовая электроника*. – 2021. – Т. 51, № 12. – С. 1090–1095. – DOI 10.1070/QEL17657.
6. Sidelnikov O.S., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Kuznetsov A.G., Wabnitz S., and Babin S.A. Mechanism of brightness enhancement in multimode LD-pumped graded-index fiber Raman lasers: numerical modeling // *Optics Express* (in press).

1.4. Индикаторы конформационного порядка в спектрах комбинационного рассеяния света липидных мембран

Indicators of conformational order in Raman spectra of lipid membranes

Авторы: Ю.В. Зайцева, Н.В. Суворцев, С.В. Адичев

Authors: Yu.V. Zaytseva, N.V. Surovtsev, S.V. Adichtchev

Предложен способ описания конформационного порядка липидных мембран. В спектрах комбинационного рассеяния света (КРС) протонированных и дейтерированных липидов выделены пики, интенсивность которых определяется наличием упорядоченных конформационных состояний углеводородных хвостов (рис. 1.4). Эти пики были использованы для описания температур-индуцированного изменения конформационных состояний липидных молекул. Знание конформационных состояний важно для определения влияния холестерина и мембранных белков на фазовое состояние клеточной мембраны.

A model of the conformational order of lipid membranes was proposed. The Raman bands with intensities depending on the presence of ordered conformation of hydrocarbon tails were observed in the spectra of protonated and deuterated lipids (Fig. 1.4). The temperature-induced changes of conformational states of lipid molecules were described using those bands. The knowledge of conformational states is important for studying the impact of cholesterol and membrane proteins on the phase state of the cell membrane.

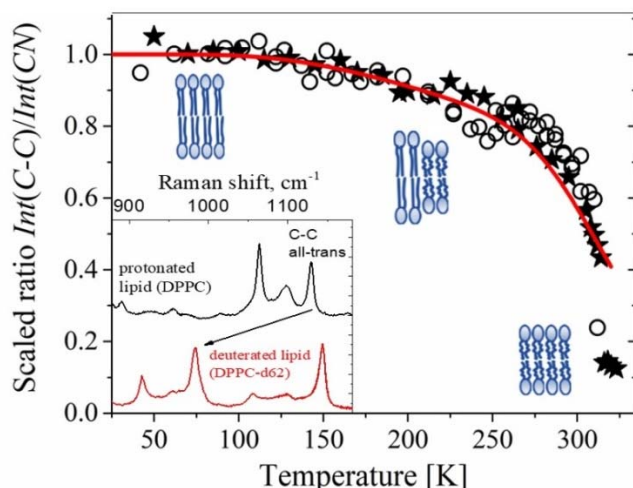


Рис. 1.4. Пример проявления конформационного разупорядочения липидов в полосе КРС валентных С-С колебаний в протонированном и дейтерированном фосфолипиде

Fig. 1.4. Manifestation of the lipid conformational disorder in the band of stretch C-C vibrations in the Raman spectrum of protonated and deuterated phospholipids

Публикации/References:

1. Zaytseva Y.V., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V. Raman study of temperature-induced hydrocarbon chain disorder in saturated phosphatidylcholines // *Chemistry and Physics of Lipids*. – 2020. – Vol. 230. – P. 104926. – DOI 10.1016/j.chemphyslip.2020.104926.
2. Zaytseva Y.V., Surovtsev N.V. Raman scattering in protonated and deuterated 1,2-dipalmitoyl-sn-glycero-3-phosphatidylcholine (DPPC): Indicators of conformational and lateral orders // *Spectrochimica Acta – Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2022. – P. 120583. – DOI 10.1016/j.saa.2021.120583.

1.5. Эффективный метод решения нелинейного векторного уравнения Шредингера

An efficient method for solving the nonlinear vector Schrödinger equation

Авторы: Фруммин Л.Л.

Authors: Frumin L.L.

Разработан численный метод решения задачи Коши для нелинейного векторного уравнения Шредингера (модель Манакова), учитывающего, наряду с дисперсией и нелинейностью, еще и поляризацию волн. Метод основан на новых векторных алгоритмах решения обратной и прямой задач рассеяния (ЗР) для системы Манакова. Впервые обнаруженная алгебраическая группа 4-блочных матриц с векторными матрицами в недиагональных блоках позволила обобщить скалярные алгоритмы решения. Обратная ЗР сводится к обращению алгоритмом типа Левинсона системы вложенных блочных матриц дискретизованных интегральных уравнений Гельфанда–

Левитана–Марченко. Теплицева симметрия системы резко ускоряет расчеты: алгоритм требует всего $O(N^2)$ арифметических операций, где N – размер сетки. Обращение шагов алгоритма решения обратной задачи решает прямую ЗР. Численные тесты подтвердили эффективность новых векторных алгоритмов. Примером решения задачи Коши служит расчет столкновения ортогонально поляризованных солитонов Манакова (рис. 1.5). Система Манакова возникает также при описании движения ультракоротких поляризованных оптических импульсов в резонансной среде. Новый метод пригоден и для этой важной задачи нелинейной оптики.

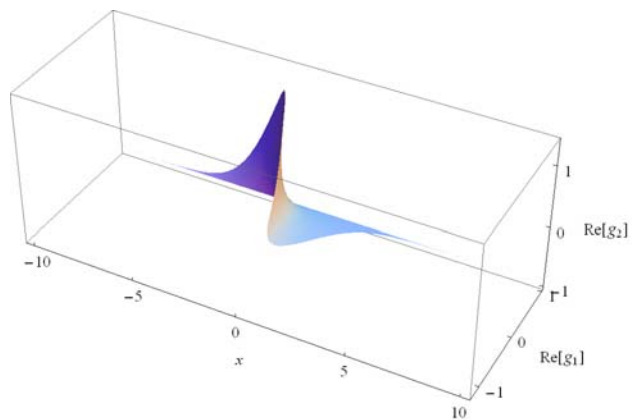


Рис 1.5. Расчет столкновения двух ортогонально поляризованных солитонов Манакова

Fig. 1.5. Calculation of the collision of two orthogonally polarized Manakov solitons

A numerical method has been developed for the fast solution of the Cauchy problem for the nonlinear vector Schrödinger equation (Manakov's model), which takes into account, along with dispersion and nonlinearity, the polarization of the waves. The method is based on new vector algorithms for solving the inverse and forward Scattering Problems (SP) for the Manakov system. The new structure of 4-block matrices, with vector matrices in off-diagonal blocks, allowed the known scalar algorithms to be generalized. The inverse SP is reduced to the inversion of a system of nested block matrices of discretized Gel'fand – Levitan – Marchenko integral equations by a Levinson-type algorithm. The Toeplitz symmetry of the system dramatically speeds up the calculations: the algorithm requires only $O(N^2)$ arithmetic operations, where N is the mesh size. The inversion of the steps of the algorithm for solving the inverse problem solves the direct SP. Numerical tests have confirmed the effectiveness of the new vector algorithms. An example of solving the Cauchy problem is the calculation of the collision of orthogonally polarized Manakov solitons (Fig. 1.5). The Manakov system also arises when describing the motion of ultrashort polarized optical pulses in a resonant medium. The new method is also suitable for this critical problem of nonlinear optics.

Публикации/References:

1. Frumin L.L. Algorithms for solving scattering problems for the Manakov model of nonlinear Schrodinger equations // Journal of inverse and ill-posed problems. – 2021. – Vol. 29, is. 3. – P. 369-383. – DOI 10.1515/jiip-2020-0126.

1.6. Спектрометр для сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа геологических порошковых проб

Spectrometer for scintillation atomic emission analysis of geological powder samples

Авторы: Лабусов В.А.¹, Дзюба А.А.¹, Бабин С.А.¹, Селюнин Д.О.,
Зарубин И.А.¹, Неклюдов О.А.¹, Семёнов З.В.¹, Ващенко П.В.¹,
Бехтерев А.В.², Гаранин В.Г.² Шабанова Е.В.³, Васильева И.Е.³

¹Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск)

²ООО «ВМК-Оптоэлектроника», г. Новосибирск

³Институт геохимии А.П. Виноградова (ИГХ СО РАН, г. Иркутск)

Authors: Labusov V.A.¹, Dzyuba A.A.¹, Babin S.A.¹, Selyunin D.O.¹,
Zarubin I.A.¹, Neklyudov O.A.¹, Semenov Z.V.¹, Vashchenko P.V.¹,
Bekhterev A.V.², Garanin V.G.², Shabanova E.V.³, Vasil'eva I.E.³

¹Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (IA&E SB RAS, Novosibirsk)

²LLC "VMK-Optoelektronika", Novosibirsk

³Vinogradov Institute of Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch (Irkutsk)

Разработан не имеющий аналогов в мире спектрометр высокого разрешения для экспресс-определения валовых содержаний благородных металлов (БМ: Au, Ag, Pt, Pd, Ir, Os, Rh и Ru) в порошковых геологических пробах методом сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектрометрии, который построен на базе светосильного полихроматора «Гранд» с высокоскоростными детекторами БЛПП-2000 и БЛПП-4000. Принцип работы спектрометра: порошковая проба равномерно в течение 20 секунд вводится в плазму электрической дуги переменного тока, где частицы нагреваются и образуют атомный пар, а входящие в их состав атомы химических элементов излучают на характерных для них длинах волн. В компьютер вводится временная последовательность из десятка тысяч спектров этого излучения. Когда частицы, содержащие БМ, попадают в плазму, наблюдаются вспышки (сцинтилляции) их линий в спектрах (рис. 1.6). С помощью программного обеспечения находят эти вспышки, измеряют их интенсивность и рассчитывают валовые содержания БМ, число и размеры частиц-носителей БМ. Преимущество спектрометра – в его чувствительности (пределы обнаружения БМ находятся на уровне их средних содержаний в земной коре – 1–50 мг/т), в производительности (до 500 проб за смену), а также в простой пробоподготовке (пробы достаточно измельчить до 75 мкм).

A high-resolution scintillation atomic emission spectrometer for the rapid determination of the total content of noble metals (NMs – Au, Ag, Pt, Pd, Ir, Os, Rh, and Ru) in powder geological samples has been developed based on the Grand

high-resolution polychromator with BLPP-2000 and BLPP-4000 high-speed photodetectors; the spectrometer has no analogues in the world. The principle of spectrometer operation is as follows: a powder sample is uniformly introduced for 20 seconds into alternating current electric arc plasma, where the particles are heated and form an atomic vapor, and the atoms of chemical elements of the particles emit at their characteristic wavelengths. A time sequence of tens of thousands of spectra of this emission is fed into a computer. When particles containing NMs enter the plasma, scintillations of their lines are observed in the spectra (Fig. 1.6). Using software, these scintillations are found, their intensity is measured, and the total NM contents, and the number and sizes of NM carrier particles are calculated. Advantages of the spectrometer are its sensitivity (the detection limits of NMs are at the level of their average concentrations in the Earth's crust, 1–50 mg/ton), productivity (up to 500 samples per session), and easy sample preparation (it is sufficient to grind samples to 75 μm).

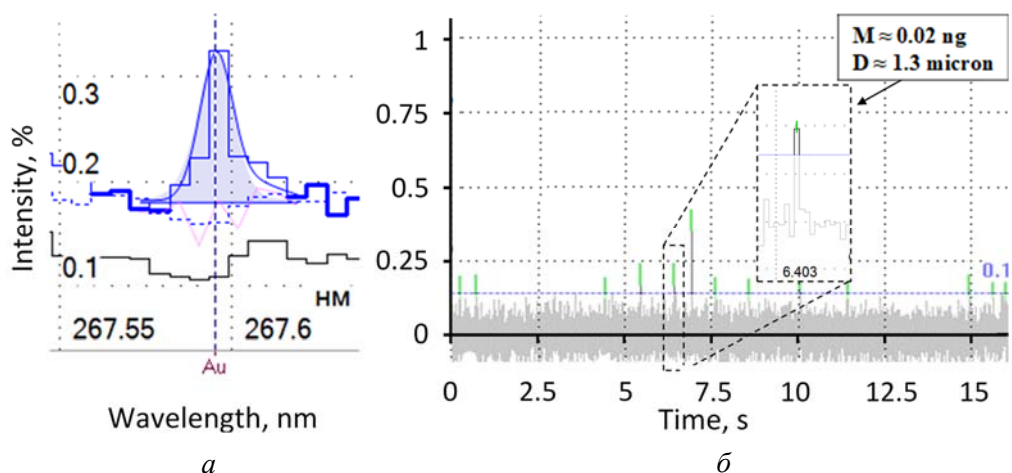


Рис. 1.6. Спектры в окрестности линии Au 267.595 нм: *a* – во время вспышки (1) и интегральный по времени (2), *б* – зависимость интенсивности этой линии от времени, здесь крупно выделена вспышка от отдельной частицы золота и указаны ее приблизительный диаметр D и масса M

Fig. 1.6. Spectra in the vicinity of the Au 267.595 nm line: (*a*) during a scintillation (1) and integral over time (2), (*b*) time dependence of the intensity of this line; here the enlarge fragment shows the scintillation from an individual gold particle with an indication of its approximate diameter D and mass M

Публикации/References:

1. Дзюба А.А., Додонов С.В., Лабусов В.А. Аналитические возможности спектрометра высокого разрешения «Гранд-2000» в дуговом атомно-эмиссионном анализе // Аналитика и контроль. – 2021. – Т. 25. – № 4. – С. 331–339. (<http://dx.doi.org/10.15826/analitika.2021.25.4.009>)

2. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Гаранин В.Г. Спектрометры с анализаторами МАЭС на основе новых линеек фотодетекторов // Аналитика и контроль. – 2021. – Т. 25. – № 4. – С. 262–272.
3. Данилова Ю.В., Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Савельева В.Б., Данилов Б.С. Благородные металлы в породах сарминской серии: фазовый состав и элементные ассоциации // Геохимия. – 2021. – Т. 66, № 3. – С. 262–274. – DOI: 10.31857/S0016752521010027.

1.7. Дифракционные сенсорные элементы для регистрации погрешностей записи компьютерно-синтезированных голограмм

Diffraction sensor elements for registration of writing errors of computer-generated holograms

Авторы: Шиманский Р.В.¹, Корольков В.П.¹, Белоусов Д.А.¹, Куц Р.И.^{1,2}

¹ *Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск) (IA&E SB RAS, Novosibirsk)*

² *Новосибирский государственный университет (НГУ, Новосибирск)*

Authors: Shimansky R.V.¹, Korolkov V.P.¹, Belousov D.A.¹, Kuts R.I.^{1,2}

¹ *Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (IA&E SB RAS, Novosibirsk)*

² *Novosibirsk State University (NSU, Novosibirsk)*

Впервые теоретически и экспериментально исследован метод синтеза дифракционных сенсорных элементов (ДСЭ) для регистрации погрешностей записи компьютерно-синтезируемых голограмм (КСГ) [1]. ДСЭ представляют собой специализированные микрорешётки, серия которых вписывается в рабочее поле КСГ в течение процесса сканирующей лазерной записи. Разработаны новые двухкоординатные ДСЭ (рис. 1.7, а–в), анализ дифракционной картины (рис. 1.7, г), от которых позволяет с чувствительностью на уровне не хуже 10 нм определить локальные погрешности изготовления КСГ по обеим ортогональным координатам [2]. Предложенный метод синтеза и анализа (рис. 1.8) ДСЭ позволяет реализовать в автоматическом режиме количественную оценку распределения погрешностей голограмм, формирующих волновой фронт с отклонением от расчетного не хуже $\lambda/20$. Новый метод позволяет проводить независимую проверку погрешностей КСГ в любое время после окончания процесса изготовления, что важно для верификации голограмм, используемых в интерферометрическом контроле крупногабаритной оптики.

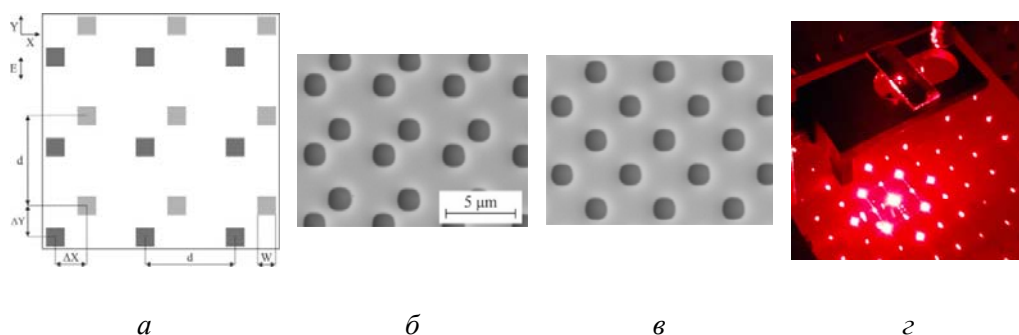


Рис. 1.7. *a* – геометрия 2D ДСЭ для моделирования; СЭМ-микрoизображения 2D ДСЭ, записанных с заданным смещением 1.6 мкм (*б*) и 2.5 мкм (*в*); *г* – пример дифракционной картины при измерении тестового 2D ДСЭ

Fig. 1.7. *a* – geometry of 2D DSEs for modeling; SEM images of 2D DSEs written with a prescribed displacement of 1.6 μm (*b*) and 2.5 μm (*c*); *d* – example of the diffraction pattern obtained in measurements of a test 2D DSE

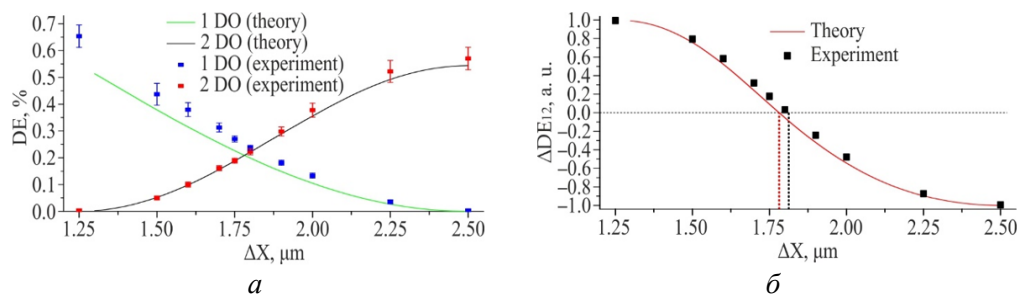


Рис. 1.8. Расчетные и экспериментальные зависимости величин от смещения по координате X: *a* – дифракционной эффективности (DE) для амплитудной 2D ДСЭ при $\Delta Y = 1.75$ мкм в 1-м и 2-м дифракционных порядках (DO), *б* – нормированной разности дифракционной эффективности 1-го и 2-го порядков $\Delta DE_{12} = (DE_1 - DE_2) / (DE_1 + DE_2)$

Fig. 1.8. Calculated and experimental dependences of the values on the displacement along the X coordinate: *a* – diffraction efficiency (DE) for the amplitude 2D DSE at $\Delta Y = 1.75$ μm in the 1st and 2nd diffraction orders (DO), *b* – normalized difference in the diffraction efficiency of the 1st and 2nd orders $\Delta DE_{12} = (DE_1 - DE_2) / (DE_1 + DE_2)$

For the first time, a method for the synthesis of diffractive sensor elements (DSEs) intended for registration of writing errors of computer-generated holograms (CGHs) was researched theoretically and experimentally [1]. DSEs are specialized microgratings, a set of which is embedded into the working field of the CGH during the process of scanning laser writing. New two-coordinate DSEs (Fig 1.7, *a-c*) have been developed, the analysis of the diffraction pattern (Fig 1.7, *d*) from which makes it possible to determine local errors for manufactured CHGs

along both orthogonal coordinates with a sensitivity of at least 10 nm [2]. The proposed method for the synthesis and analysis (Fig. 1.8) of the DSE makes it possible to quantify automatically the distribution of the errors in the holograms that form a wave front with a deviation from the calculated value not worse than $\lambda/20$. The new method makes it possible to check independently the errors of the CGH at any time after the completion of the manufacturing process, which is important for the verification of the holograms used in the interferometric testing of large-sized optics.

Публикации/References:

1. Shimansky R.V., Belousov D.A., Korolkov V.P., Kuts R.I. Diffractive sensor elements for registration of long-term instability at writing of computer-generated holograms // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21, is. 15. – P. 6635. – DOI 10.3390/s21196635.
2. Shimansky R.V., Belousov D.A., Kuts R.I., Korolkov V.P. Controlling the accuracy of fabricating computer-generated holograms on circular and X-Y laser writing systems // *Proceedings SPIE*. – 2021. – Vol. 11871: Optical design and engineering VIII. – P. 118710I (9 p.). – DOI 10.1117/12.2597134.

1.8 Событийно-темпоральный способ спецификации функциональных требований для реактивных систем

Event-driven temporal approach of specifying functional requirements for reactive systems

Авторы: Зюбин В.Е., Ануреев И.С., Гаранина Н.О., Старолетов С.М., Розов А.С., Лях Т.В.

Authors: Zyubin V., Anureev I., Garanina N., Staroletov S., Rozov A., Liakh T.

Предложен событийно-темпоральный способ (event-driven temporal logic pattern (EDTL-паттерн)) спецификации функциональных требований для реактивных систем (рис. 1.9), который сводится к заданию списка шестикомпонентных кортежей. Единичный кортеж (элементарное EDTL-требование) определяется (1) триггерным событием, (2) финализирующим событием, (3) реакцией на триггерное событие, (4) допустимой задержкой на реакцию, (5) инвариантом и (6) событием отмены триггерного события. Получено преобразование элементарной EDTL-записи в утверждения линейной темпоральной логики и логики первого порядка, что доказывает совместимость предлагаемого подхода с существующими системами формальной верификации. Продемонстрирована конструктивность семантики элементарного EDTL-требования через разработанный алгоритм контроля истинности EDTL-записи на ограниченном множестве путей программы. Отработка способа на тестовых примерах показала его универсальность, гибкость и простоту использования, что обуславливает эффективность его применения при групповой разработке реактивных систем широкого класса:

централизованных и распределенных систем управления на базе программируемых логических контроллеров, киберфизических систем, приложений Интернета вещей (IoT), в том числе промышленного (IIoT), встраиваемых систем и др.



Рис. 1.9. Структура элементарной ECTL-записи

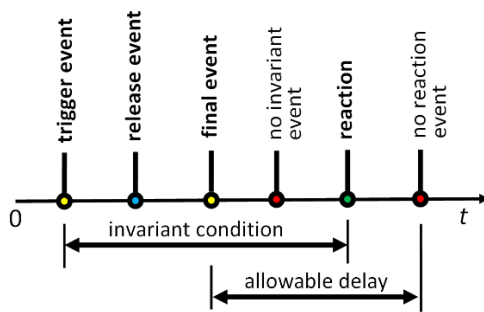


Fig. 1.9. Structure of elementary ECTL-record

We proposed an event-driven temporal logic pattern (EDTL-pattern) aimed at specification of functional requirements for reactive systems (Fig. 1.9). The EDTL-pattern is a six-component tuple consisting of (1) trigger event, (2) finalizing event, (3) reaction to trigger event, (4) acceptable response delay, (5) invariant, and (6) release event. We obtained transformation semantics of the elementary EDTL-records into statements of linear temporal logic and first-order logic, which proves the compatibility of the proposed approach with existing systems of formal verification. The constructiveness of the semantics of an elementary EDTL requirement was demonstrated through the developed bound checking algorithm that checks the truth of an EDTL-record on a limited set of program paths. A case-study of the approach showed its versatility, flexibility, and ease of use for reactive systems of a wide class: centralized and distributed control systems based on programmable logic controllers, cyber-physical systems, Internet of Things (IoT) applications, including industrial (IIoT), embedded systems, etc.

Публикации/References:

1. Zyubin V.E., Anureev I., Garanina N., Staroletov S., Rozov A.S., Liakh T.V. Event-Driven Temporal Logic Pattern for Control Software Requirements Specification // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2021. – Vol. 12818: 9th International Conference on Fundamentals of Software Engineering, FSEN 2021 (19–21 May, 2021), Virtual, Online. – P. 92–107. – DOI: 10.1007/978-3-030-89247-0_7.

2. ПРОЕКТЫ ГОСЗАДАНИЯ ИНСТИТУТА

ПРОЕКТ: Новые нелинейные эффекты при распространении высокоэнергетических импульсов в оптическом волокне и микроструктурах.
№ гос. рег. АААА-А21-121012190005-2

Исполнители проекта:

Лаборатория нелинейной физики

Лаборатория фотоники

Тематическая группа нелинейной оптики

Научный руководитель д.ф.-м.н. **Шапиро Д.А.**

Исследование динамики генерации ультракоротких импульсов в волоконных лазерах

На основе численного моделирования исследовано формирование шумовых импульсов с предельно широким спектром излучения в волоконных лазерах с пассивной синхронизацией мод [1–4]. Механизм спектрального уширения связан с керровской нелинейностью бездисперсионных волокон, формирующих лазерный резонатор. Установлено, что оптимизация нелинейно-дисперсионных параметров волоконного резонатора может приводить к генерации шумовых импульсов со спектральной шириной, превышающей ширину полосы усиления более чем в 10 раз (рис. 2.1). Полученные результаты представляют интерес для разработки волоконных лазеров с широкими спектрами излучения.

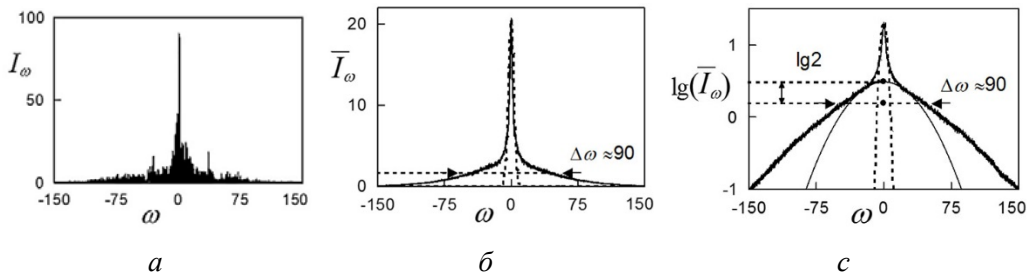


Рис. 2.1. *а* – одна из хаотических спектральных реализаций шумового импульса в выходном излучении; *б* – спектральное распределение шумового импульса, усредненное за 1000 проходов I_ω ; *с* – спектральное распределение в логарифмическом масштабе. Пунктирной кривой обозначен спектральный профиль усиления лазерной усиливающей среды

Изучение нелинейных поляризационных явлений в волоконных линиях связи

а) подавление нелинейных искажений в высокоскоростных линиях связи, использующих многоуровневые форматы передачи данных

Предложен метод подавления нелинейного шума в канале волоконно-оптической связи с многоуровневой амплитудно-фазовой модуляцией и с учетом двух состояний поляризации [5]. Показано, что импульсы с большим чирпом

испытывают гораздо меньшие нелинейные искажения (рис. 2.2). Полученные результаты могут быть полезны как при выборе дизайна высокоскоростной линии связи, так и при реновации существующих линий.

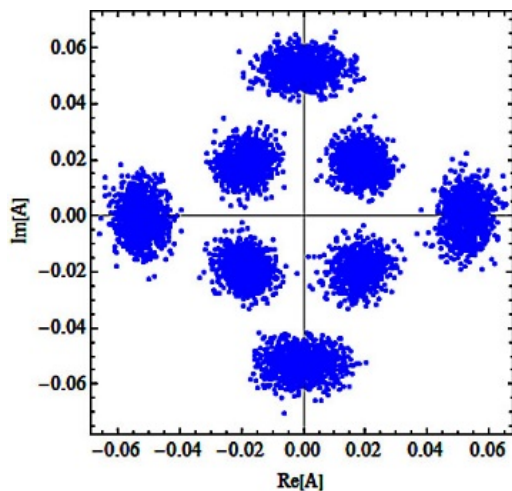


Рис. 2.2. Сигнальные диаграммы с учетом шумов усилителей для безразмерного параметра chirpa 20; пиковая мощность 0.94 мВт

б) солитонные линии связи

Разработан численный метод решения задачи Коши для нелинейного векторного уравнения Шредингера (модель Манакова), учитывающего, наряду с дисперсией и нелинейностью, еще и поляризацию волн [6, 7].

в) нелинейные поляризационные эффекты

Численно исследовано формирование нелинейных волн экстремально большой амплитуды (волн-убийц) в двух системах: 1) статистически стационарном состоянии, полученном в результате развития модуляционной неустойчивости из плоской волны, возмущенной малым шумом, и 2) солитонном газе, представляющим собой модель этого состояния. Показано, что волны-убийцы, возникающие в рассмотренных системах, имеют идентичные статистические характеристики [8]. Развита новая численные методы решения нелинейных уравнений, представляющие интерес для нелинейной оптики и теории солитонов [9].

Изучение когерентных нелинейных явлений, связанных с формированием и эволюцией ультракоротких импульсов в микроструктурированных средах

Найдено обширное семейство солитонных состояний в $\chi^{(2)}$ микрорезонаторах, отвечающих спектрально узким частотным комбам (рис. 2.3). Сформулированы требования к реализации $\chi^{(2)}$ комбов. Изучено влияние частотных расстроек на эффективность генерации 2-й гармоники в $\chi^{(2)}$ микрорезонаторах. Исследованы свойства и устойчивость пространственно однородных состояний, сопровождающих генерацию $\chi^{(2)}$ комбов [10–12].

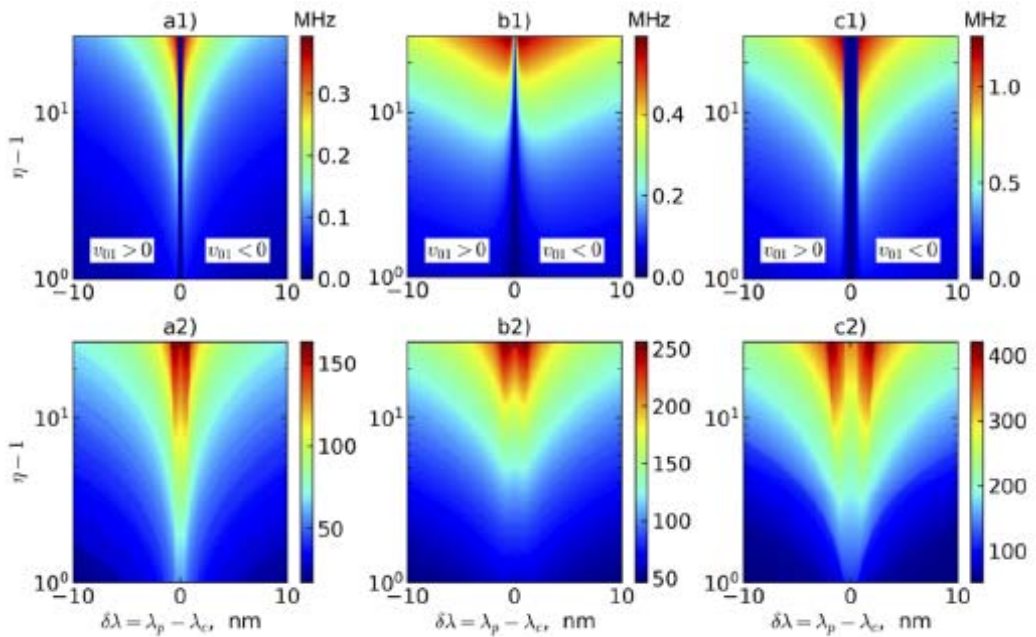


Рис. 2.3. Зависимости параметра скорости солитона (первый ряд) и числа значимых линий в частотном комбе (второй ряд) от параметра мощности накачки η и спектрального расстояния до точки равных скоростей $\lambda_p - \lambda_c$. *a, b, c* отвечают различным соотношениям добротности мод в области 1-й и 2-й гармоники. Значения скорости солитона v_{01} противоположны слева и справа от центра

Публикации:

1. Komarov A.K., Komarov K.P., Meshcheriakov D.V., Dmitriev A., Zhao L. Noise-like pulses with an extremely broadband spectrum in passively mode-locked fiber lasers // *JOSA B.* – 2021. – Vol. 38, is. 3. – P. 961–967. – DOI 10.1364/JOSAB.414369.
2. Wang Y., Fu S., Kong J., Komarov A.K., Klimczak M., Buczynski R., Tang X., Tang M., Qin Y., Zhao L. Nonlinear Fourier Transform enabled Eigenvalue spectrum investigation for fiber laser radiation // *Photonics Research.* – 2021. – Vol. 9, is. 8. – P. 1531–1539. – DOI 10.1364/PRJ.427842.
3. Meng Y., Zhang D., Semaan G., Kemel M., Nady A., Salhi M., Komarov A.K., Sanchez F. Optical domains in fiber lasers // *Journal of Optics.* – 2021. – Vol. 23, № 3. – P. 035502 (6 p.). – DOI 10.1088/2040-8986/abdf32.
4. Erofeev V.I. Beginnings of developing kinetic scenarios of plasma evolution due to coulomb collisions // *Plasma.* – 2021. – Vol. 4, is. 2. – P. 252–268. – DOI 10.3390/plasma4020017.
5. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Подавление нелинейных искажений в высокоскоростной многоканальной линии связи с переменной квадратичной компенсацией дисперсии // *Квантовая электроника.* – 2021. – Т. 51, № 7. – С. 635–638. – DOI 10.1070/QEL17571.
6. Bogdanov S.A., Frumin L.L. Soliton orthogonal frequency division multiplexing with phase-frequency coding on the base of inverse scattering transform // *Journal of inverse and ill-posed problems.* – 2021. – Vol. 29, is. 4. – P. 629–634. – DOI 10.1515/jiip-2020-0128.
7. Frumin L.L. Algorithms for solving scattering problems for the Manakov model of nonlinear Schrodinger equations // *Journal of inverse and ill-posed problems.* – 2021. – Vol. 29, is. 3. – P. 369–383. – DOI 10.1515/jiip-2020-0126.

8. Agafontsev D.S., Gelash A.A. Rogue Waves With Rational Profiles in Unstable Condensate and Its Solitonic Model // *Frontiers in Physics*. – 2021. – Vol. 9. – P. 610896. – DOI 10.3389/fphy.2021.610896.
9. Mullyadzhanov R.I., Gelash A.A. Magnus Expansion for the Direct Scattering Transform: High-Order Schemes // *Radiophysics and Quantum Electronics*. – 2021, № 63. – P. 786–803. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11141-021-10096-6>
10. Szabados J., Amiune N., Sturman B.I., Breunig I. Fine structure of second-harmonic resonances in $\chi^{(2)}$ optical microresonators // *Optics Express*. – 2021. – Vol. 29, iss. 9. – P. 13925–13936. – DOI 10.1364/OE.424617.
11. Smirnov S., Andryushkov V., Podivilov E.V., Sturman B.I., Breunig I. Soliton based $\chi^{(2)}$ combs in high-Q optical microresonators // *Optics express*. – 2021. – Vol. 29, is. 17. – P. 27434–27449. – DOI 10.1364/OE.432529.
12. Sturman B.I., Podivilov E.V., Szabados J. and Breunig I. Dual backgrounds and their stability during $\chi^{(2)}$ comb generation in microresonators // *JOSA B*. – 2022. – Vol. 39. – P. 378–387.

ПРОЕКТ: Когерентные эффекты и эффекты столкновений для атомов и их конденсатов, находящихся в поле излучения.

№ гос. рег. 121021800168-4

Исполнители проекта:

Лаборатория нелинейной спектроскопии газов

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

Исследование свойств атомов рубидия в магнитной ловушке: эффективная загрузка магнитной ловушки атомами из магнитооптической ловушки, высокочастотное испарительное охлаждение атомов в магнитной ловушке, фазовая плотность атомов и их распределение по скоростям

Проведена подготовительная работа по экспериментальному исследованию свойств ультрахолодных атомов рубидия в магнитной ловушке. Измерение распределения атомов рубидия по скоростям будет осуществлено с помощью нелинейно-оптических резонансов, индуцированных эффектом отдачи. Созданы необходимые для этого мощные лазерные поля с высокой взаимной когерентностью на уровне 10^{-5} Гц.

Новая модель вероятностей исходов измерения над кубитом, эволюционирующим по замкнутой мировой линии. Сопоставление с предсказаниями известной модели Д. Дойча

Предложена новая модель описания эволюции квантовых систем в присутствие причинных петель. В основе этой модели, названной S-СТС, лежит эпистемологическая трактовка понятия квантового состояния исключительно как особой формы знания наблюдателя о процедуре приготовления системы. Эта новая модель радикально отличается от модели Д. Дойча, известной как D-СТС, в которой используется явная онтологическая трактовка квантового состояния как особого рода физической реальности. Про-

ведено сравнение S-СТС с D-СТС и другой известной моделью P-СТС, основанной на пост-селекции квантовых состояний. Сравнение показало, что S-СТС включает в себя черты как модели D-СТС, так и P-СТС. Что касается эффектов взаимодействия квантовой системы с самой собой, пришедшей из будущего, модель S-СТС формально эквивалентна P-СТС. С другой стороны, при вычислении вероятностей результата измерения в интервале времени между выходом и входом во внепространственный коридор, ведущий из будущего в прошлое, модель S-СТС становится эквивалентной D-СТС. Обе эти модели требуют концепции альтернативных реальностей (миров), соответствующих различным исходам измерений, и альтернативных способов соединения этих реальностей с помощью СТС [1, 2].

Предложена и исследована «гибридная» атомарно-оптическая схема интерферометра-гироскопа. Её основой служит кольцевая конфигурация атомарного конденсата Бозе–Эйнштейна (ВЕС), нарушенная в некотором участке дополнительным потенциальным барьером или ямой. Этот дефект кольцевой конфигурации создается пучком нерезонансного излучения, дисперсионно взаимодействующего с попадающими в его область атомами. Пучок распространяется по одному из путей интерферометра Маха–Цандера (рис. 2.4). Вращение системы отсчета гироскопа из-за наличия дефекта кольцевой структуры модифицирует состояние конденсата, а тот, в свою очередь, меняет условия интерференции излучения, взаимодействующего с атомами [3].

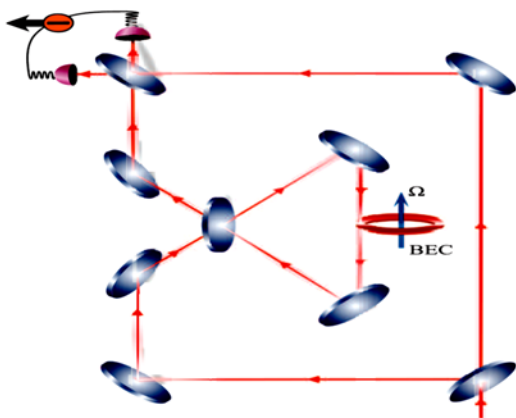


Рис. 2.4. Атомарно-оптическая схема интерферометра-гироскопа

Показано, что пост-селекция состояния квантовой системы выявляет картину интерференции, скрытую в массиве данных измерения (рис. 2.5). Изучение интерференционной картины даёт возможность измерить параметры очень слабых эффектов. Используя одиночные фотоны, исследуется, как пост-селекция может дать сдвиг фазы, равный π , при их слабом взаимодействии в нелинейно-оптической среде. Увеличение степени запутанности лежит в основе эффективности пост-селекции при оценке параметров.

В частности, организация пост-селекции на чистых запутанных состояниях может оптимизировать отношение сигнал/шум, позволяющее проводить высокочувствительные измерения с использованием низкой входной мощности [4].

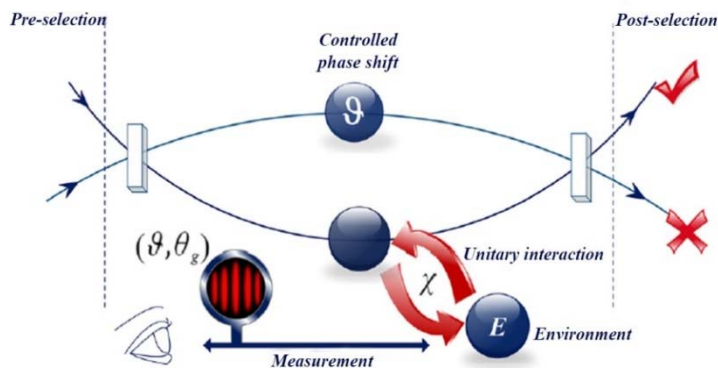


Рис. 2.5. Схема измерений с пост-селекцией

Теоретическое исследование возможности усиления и генерации излучения двухуровневой системой в «красном» крыле ее спектральной линии при резонансной накачке лазерными диодами

Атомы активного газа моделируются двухуровневой системой, при этом они находятся в атмосфере буферного газа высокого давления. Эффект обусловлен тем обстоятельством, что при выравнивании заселенностей (резонансным излучением накачки) в «красном» крыле спектральной линии вероятность вынужденного испускания превышает вероятность поглощения, если однородное уширение из-за взаимодействия частиц с буферным газом существенно превышает естественное (при больших давлениях буферного газа). Получены аналитические формулы, описывающие работу двухуровневого газового лазера при поперечной диодной накачке. Выяснено, что эффективность преобразования излучения накачки в лазерное излучение тем больше, чем длиннее активная среда, чем выше давление буферного газа и интенсивность излучения накачки и чем меньше ширина спектра излучения накачки. В достаточно длинной активной среде (длина среды в 50 раз превышает ее ширину) эффективность преобразования может достигать значения 44 % при давлении буферного газа 5 атм, интенсивности излучения диодов накачки 3 кВт/см² и полуширине спектра излучения накачки 1 см⁻¹. Двухуровневый газовый лазер с поперечной диодной накачкой способен генерировать непрерывное оптическое излучение с очень высокой (до сотни киловатт) мощностью с перестройкой частоты на несколько десятков обратных сантиметров [5, 6].

Теоретическое описание магнитооптических явлений при поглощении монохроматического излучения атомами щелочных металлов резонансно с пе-

реходом на второй возбужденный уровень с учетом тонкого и сверхтонкого расщеплений

Развита теория для описания взаимодействия излучения с атомом при резонансе с переходом на второй возбуждаемый уровень с учетом тонкого и сверхтонкого взаимодействия, а также спонтанных переходов через промежуточные уровни в присутствии магнитного поля. На основе развитой теории была создана численная программа для расчета взаимодействия излучения с такими многоуровневыми системами. Проводится отладка и тестирование программы [7]. Научным заданием для проведения этапа исследований 2021-го года послужила статья [8].

Публикации:

1. Shepelin A.V., Rostom A.M., Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Multiworld motives by closed time-like curves // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2081. – P. 012029. – DOI:10.1088/1742-6596/2081/1/012029.
2. Il'ichov L.V., Rostom A.M., Shepelin A.V., Tomilin V.A. Multiworld Motives by Closed Time-like Curves. // XXII International Scientific Conference Physical Interpretations of Relativity Theory - 2021 (PIRT-2021) (Moscow, July 5–9, 2021). Abstracts, Bauman Moscow State Technical University, 2021, P. 48–49. <http://www.pirt.info/files/blocks/PIRT-2021/documents/PIRT-2021%20Abstracts.pdf>
3. Томили В.А., Ильичев Л.В. Гибридная атомарно-оптическая квантовая гиометрия // Письма в ЖЭТФ. – 2021. – Т. 113, № 3/4. – С. 212–217. – DOI 10.31857/S1234567821030101.
4. Rostom A.M. Optimal Settings for Amplification and Estimation Of Small Effects In Post-selected Ensembles // Annalen der Physik. – 2022. – Vol. 534, is. 1. – Art 2100434 (8 p.). – DOI 10.1002/andp.202100434.
5. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. О возможности безынверсного усиления и генерации излучения двухуровневой системой в «красном» крыле ее спектральной линии при резонансной диодной накачке // Квантовая Электроника. – 2021. – Т. 51, № 10. – С. 915–919. – DOI: 10.1070/QEL17633.
6. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Двухуровневый газовый лазер с поперечной диодной накачкой // Квантовая электроника (в печати).
7. Gateva S., Tsvetkov S., Todorov G., Gozzini S., Nasyrov K.A., Andreeva C., Cartaleva S. Coherent magneto-optical resonances in hot potassium vapor // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1859, is. 1: 21st International Conference and School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications, ICSQE 2020; Virtual, Online; 21–25 September, 2020. – P. 012022. – DOI 10.1088/1742-6596/1859/1/012022.
8. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Влияние столкновений на спектр резонансной флуоресценции трехуровневых атомов с V-конфигурацией уровней // Оптика и спектроскопия. – 2021. – Т. 129, вып. 9. – С. 1099–1110. doi: 10.21883/OS.2021.09.51333.201-21.

ПРОЕКТ: Научные основы, методы и интеллектуальные информационные технологии обнаружения и классификации объектов в задачах мониторинга и прогнозирования эволюции динамических сцен.

№ гос. рег. 121022000116-0

Исполнители проекта:

Лаборатория информационной оптики

Лаборатория цифровых методов обработки

Лаборатория вероятностных методов исследования информационных процессов

Тематическая группа информатики и прикладной математики

Тематическая группа оптико-электронных специализированных процессов

Тематическая группа имитационно-моделирующих стендов

Научный руководитель **к.т.н. Борзов С.М.**

Разработка аппаратно-программного стенда и исследование метода активно-импульсной локации для обнаружения световозвращающих объектов. Разработка программно-алгоритмических средств классификации гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли пониженной размерности. Исследование возможности построения неохлаждаемых сверхвысокочувствительных оптико-акустических приемников (ОАП) излучения ИК и ТГц диапазонов с нанооптоэлектромеханическими элементами

Разработан аппаратно-программный стенд для исследования метода активно-импульсной локации световозвращающих объектов с реализацией функции затвора с помощью специального алгоритма управления двухсекционным ПЗС-приёмником со строчным переносом (без применения электронного оптического преобразователя) [1–3]. Аппаратная часть стенда выполнена в виде оптико-электронного модуля (ОЭМ), опорно-поворотного устройства, обеспечивающего наведение по азимуту и углу места, и управляющего компьютера. ОЭМ содержит блок регистрации изображений 1 и блок импульсного лазерного зондирования 2, а также платы источника питания 3 и платы коммутатора 4, расположенные на единой платформе 5 (рис. 2.6).

Для обеспечения функционирования стенда разработаны программно-алгоритмические средства, состоящие из трёх уровней. Нижний уровень реализован в аппаратной части ОЭМ, управляет аппаратными блоками, осуществляет формирование и передачу данных на средний уровень. Средний и верхний уровни программно-алгоритмических средств реализованы на управляющем компьютере (ноутбуке). Продемонстрирована работоспособность и эффективность созданной аппаратуры для исследования характеристик световозвращающих объектов и их обнаружения.

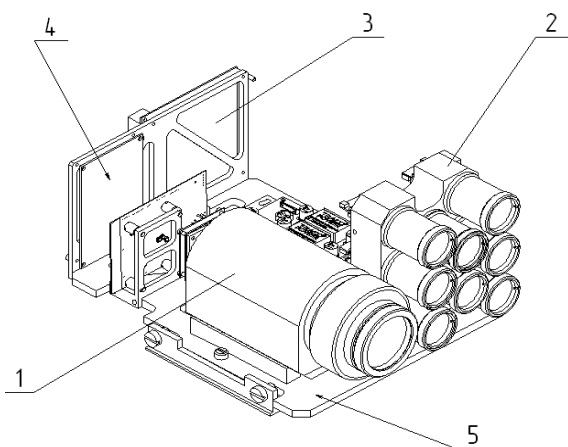


Рис. 2.6. Внешний вид оптико-электронного модуля (без внешнего кожуха)

Разработаны и экспериментально исследованы методы формирования обучающих выборок из гиперспектральных изображений (ГСИ) для их классификации в сверточных нейронных сетях, а также алгоритмы понижения размерности пространства признаков ГСИ [4–6]. Показана целесообразность применения небольшого количества признаков. Определена максимальная точность классификации ГСИ при их сокращении с 200 до 10: 88.94 % (для ГСИ 145×145 пикселей) и 76.75 % (для ГСИ 1408×614 пикселей). Подтверждена высокая эффективность применения нейронных сетей для классификации ГСИ, в том числе при понижении размерности системы признаков.

Выполнены обобщенные расчеты чувствительности мембран на основе традиционных материалов: серебро, полиметаллметакрилат, нитрид кремния. Даны оценки, показывающие, что применение мембран из SLG графена позволяет создать оптико-акустические приемники широкого спектрального диапазона с предельно высокой чувствительностью. Показано, что с учетом соотношения толщин мембран сравнительное повышение чувствительности для графена (С)₆ составит порядка 9 000, а для гексатриграфена (С)₆₃₍₆₎ – порядка 300 000 [7–11].

Разработка математической имитационной модели двухкомпонентного пространственно-нестационарного фона с заданными статистическими характеристиками компонент. Повышение разрешения и контраста в последовательности изображений динамических сцен посредством компенсации локальных межкадровых геометрических искажений. Исследование устойчивости особых точек (характерных локальных признаков) к геометрическим искажениям изображений

Разработана простая в реализации имитационная модель изображений динамического пространственно-нестационарного фона. Статистические свойства компонент фона определяются своими амплитудным распределением и автокорреляционной функцией (АКФ). В представленных модельных исследованиях среднее квадратическое отклонение между заданной

АКФ и ее оценкой, полученной по 2500 реализациям фона, составило 15 %. Модель предоставляет новые возможности для исследования эффективности алгоритмов обнаружения объектов в условиях контролируемого фонового окружения.

Изменяя реализации шума и параметры АКФ, можно моделировать фоны с различными статистическими свойствами. Размещение и соотношение компонент в кадре, реализующие пространственную нестационарность, обеспечивается бинарной маской, получающейся путём порогового сечения функции, формируемой аналогично компонентам фона. Движение компонент реализуется аффинным преобразованием координат. Пример реализации двухкомпонентного фона приведен на рис. 2.7.

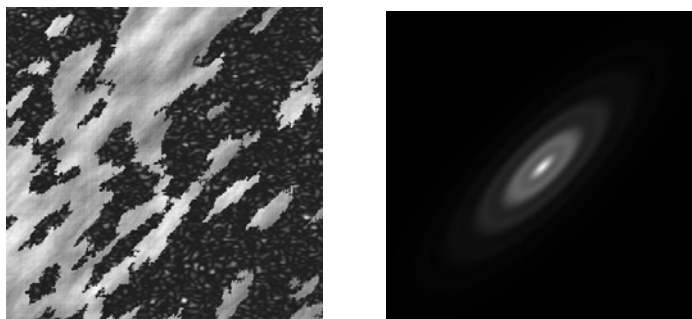
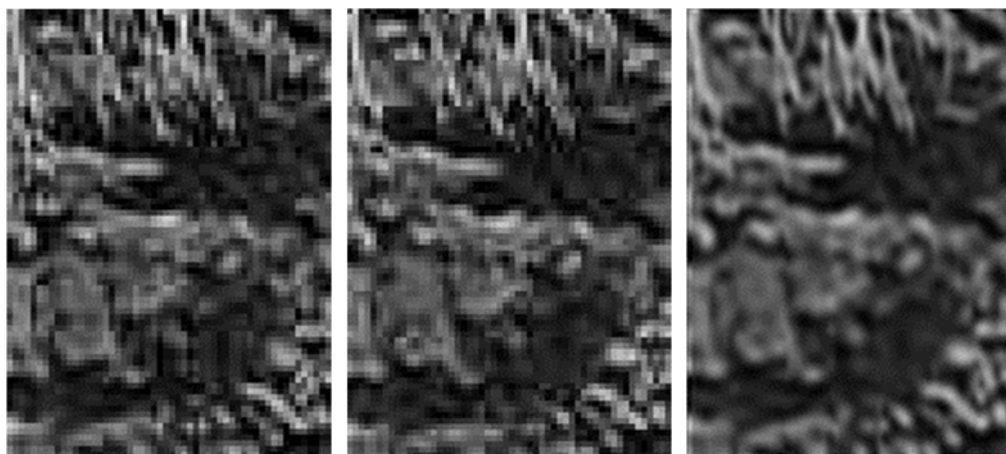


Рис. 2.7. Реализация двухкомпонентного фона (слева) и ее АКФ (справа)

Предложен способ и алгоритм повышения разрешения изображений динамических сцен, основанный на точном локальном совмещении последовательности изображений на более частой решетке и последующей свертке с фильтром Винера, согласованным с функцией рассеяния точки и оценкой уровня шума. Полученное увеличение разрешения и контраста способствует повышению надежности обнаружения малоразмерных объектов.

На рис. 2.8 и 2.9 приведены результаты обработки для 25 кадров двух последовательностей (фрагмента фона, движущегося относительно камеры, и фрагмента изображения объекта, движущегося относительно фона) [12, 13].

Разработан способ отбора устойчивых к искажениям особых точек изображения, основанный на моделировании искажений, включающем размытие, аффинные преобразования и добавление шума [14–16]. Экспериментальные исследования с 1000 изображений показали, что наборы, полученные предложенным способом, содержат в 3–5 раз больше устойчивых точек, чем случайные наборы такого же размера, что важно при решении задач компьютерного зрения.



a

б

в

Рис. 2.8. Формирование изображения повышенного разрешения из последовательности изображений фрагмента фона – трехкратно увеличенные фрагменты: 1-го и 25-го изображений (*a, б*), изображения повышенного разрешения (*в*)



a

б

в

Рис. 2.9. Формирование изображения повышенного разрешения из последовательности изображений динамической сцены – трехкратно увеличенные фрагменты: 1-го и 25-го изображений (*a, б*), изображения повышенного разрешения (*в*)

Программно-алгоритмические методы анализа дискретно-точечных полей и цифровых изображений с использованием комбинаторно-вероятностных моделей

Разработаны алгоритмы и программы символьно-аналитического расчета многомерных параметрических интегралов по выпуклым многогранникам в n -мерном пространстве, позволившие найти новое решение вероятностной задачи, связанной с оцениванием степени случайности анализируемых точечных изображений [17–20]. Приведенные результаты получены с помощью специально разработанных средств машинной аналитики и построения адекватной комбинаторно-вероятностной модели, что позволило перевести непрерывную по своей сути задачу оценивания степени случайности анализируемых фрагментов изображений в разряд дискретно-комбинаторных. Эффективность предложенных методов позволяет надеяться на их применимость для решения многих других задач, связанных с анализом случайных точечных полей и цифровых изображений.

Публикации:

1. Алантьев Д.В., Борзов С.М., Козик В.И., Потатуркин О.И., Узилов С.Б., Яминов К.Р. Экспериментальное исследование метода лазерной импульсной локации световозвращающих объектов // Там же, № 1. – С. 103–111. – DOI 10.15372/AUT20210111.
2. Алантьев Д.В., Борзов С.М., Жуков С.Н., Потатуркин О.И., Узилов С.Б., Чихонадских А.П. Оптико-электронная система обнаружения световозвращающихся объектов на основе зондирования импульсным лазерным излучением // Автометрия. – 2021. – Т 57, № 3. – С. 92–101. – DOI 10.15372/AUT20210311.
3. Borzov S.M., Potaturkin O.I. Processing of data streams in the detection of retroreflective objects // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Vol. 3006: Proceedings of the All-Russian Conference With International Participation "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM-2021) (Novosibirsk, Russia August 24–27, 2021). – P. 24–31. – DOI 10.25743/SDM.2021.69.25.005.
4. Свитов Д.В., Алямкин С.А. Оптимизация нейросетевого детектора движущихся объектов // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 1. – С. 21–30. – DOI 10.15372/AUT20210103.
5. Козик В.И., Нежевенко Е.С. Классификация гиперспектральных изображений с помощью свёрточных нейронных сетей // Там же, № 2. – С. 13–21. – DOI 10.15372/AUT20210202.
6. Kozik V.I., Nezhevenko E.S. Selection of features system and network parameters for hyperspectral images classification using convolutional neural networks // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Vol. 3006: Proceedings of the All-Russian Conference With International Participation "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM-2021) (Novosibirsk, Russia, August 24–27, 2021). – P. 152–160.
7. Гибин И.С., Котляр П.Е. От газового термометра до терагерцовой матрицы (обзор) // Успехи прикладной физики. – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 337–346. – DOI 10.51368/2307-4469-2021-9-4-337-346.
8. Гибин И.С., Котляр П.Е. Оптико-акустические приемники ИК- и ТГц-излучения с нанооптоэлектромеханическими элементами на основе однослойного графена // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 1. – С. 57–67. – DOI 10.15372/AUT20210107.
9. Гибин И.С., Котляр П.Е. Гелий-графеновый оптико-акустический преобразователь предельной чувствительности // Прикладная физика. – 2021. – № 3. – С. 78–84. – DOI 10.51368/1996-0948-2021-3-78-84.
10. Оптико-акустический приемник инфракрасного и ТГц излучения: пат. 2746095 Рос. Федерация на изобретения. Гибин И.С., Котляр П.Е., опубли. 06.04.2021; Бюл. № 10, 2 с.

11. Gibin I.S., Kotlyar P.E. Experimental Dynamics of Temperature-Initiated Metal–Insulator Transition in Vanadium Dioxide // *Journal of Communications Technology and Electronics*. – 2021. – Vol. 66, № 3. – P. 340–347. – DOI 10.1134/S1064226921030050.
(Гибин И.С., Котляр П.Е. Экспериментальная динамика температурно-инициированного перехода металл – диэлектрик в диоксиде ванадия // *Журнал коммуникационных технологий и электроники*. – 2021. – Vol. 66, № 3. С. 340–347.)
12. Громилин Г.И., Косых В.П. Межкадровая обработка последовательности изображений, формируемых сканирующим ФПУ с пространственно-неравномерной чувствительностью // *Автометрия*. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 3–9. – DOI 10.15372/AUT20210301.
13. Kosykh V.P., Gromilin G.I., Yakovenko N.S. Joint processing of images in two spectral channels for small objects detecting // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2021. – Vol. 3006: Proceedings of the All-Russian Conference With International Participation "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM-2021) (Novosibirsk, Russia August 24–27, 2021). – P. 142–151.
14. Шакинов А.К. Сравнение детекторов особых точек изображений и оценка их статистических характеристик // *Автометрия*. – 2021. – Т. 57, № 1. – С. 11–20. – DOI: 10.15372/AUT20210102.
15. Шакинов А.К. Селекция особых точек, устойчивых к размытию и геометрическим искажениям изображений // Там же, № 6. – С. 82–89. – DOI: 10.15372/AUT20210609.
16. Gromilin G.I., Yakovenko N.S. A Method for Assessing the Pupil Center Coordinates in Eyetracking with a Free Head Position // *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*. – 2021. – Vol. 7, № 3. – P. 030302. – DOI 10.18287/JBPE21.07.030302.
17. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. On the statistics of anomalous clumps in random point images // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2021. – Vol. 3006: Proceedings of the All-Russian Conference With International Participation "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM-2021) (Novosibirsk, Russia, August 24–27, 2021). – P. 246–251.
18. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. Physically realizable algorithms for the localization of random pulse-point sources // Там же. – P. 252–259.
19. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. Improving the spatial resolution of digital images and video sequences using subpixel scanning // Там же. – P. 238–245.
20. Reznik A. L., Soloviev A.A., Torgov A.V. Enhancing the spatial resolution of digital images using circular scanning // Там же. – Vol. 2984: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, ITAMS 2021 (Irkutsk, Russia, 14 September, 2021). – P. 49–54.

ПРОЕКТ: Развитие высокоинформативных оптических методов исследования состава и микроструктуры материалов и веществ.

№ гос. рег. 121022000126-9

Исполнители проекта:

Лаборатория оптических информационных систем

Тематическая группа многоканальных анализаторов оптического и рентгеновского излучения

Научный руководитель д.т.н. Лабусов В.А.

Исследование и разработка новых многоканальных анализаторов оптических спектров с повышенными спектральным разрешением и чувствительностью для решения задач сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа геологических порошковых проб

Цель работы – изучение возможности снижения относительной систематической погрешности результатов определения содержания элементов в геологических порошковых пробах методом атомно-эмиссионной спектроскопии. Работа выполнялась совместно с предприятием «ВМК-Оптоэлектроника».

При выполнении исследования использовались две спектральные установки, работающие в диапазоне длин волн 190–350 нм. Первая из них включала спектрометр «Гранд» с разрешением 13 пм; вторая – спектрометр «Гранд-2000» с разрешением 4 пм. Анализ проводился при базовой экспозиции 3 мс. В качестве источника возбуждения спектров использовались электродуговые установки для анализа порошковых проб по способу просыпки-вдувания в условиях, оптимизированных для сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа.

Проведены по 3 регистрации спектров эмиссии (параллельных измерения) 20 стандартных образцов (СО) различного состава. Полученные спектры СО горных пород, руд, почв и осадков первой серии измерений использованы для построения градуировочных графиков (обучающая выборка), по которым определялись содержания элементов в образцах остальных серий измерений (тестовая выборка) [1–26].

По спектрам первой серии построены градуировочные зависимости для 30 спектральных линий 11 элементов. Две последующие серии для тех же СО использовались в качестве тестовых. Проведен расчет следующих метрологических характеристик: относительной систематической погрешности (ОСП, в %) определения 11 элементов, являющейся интервальной оценкой и характеризующей правильность полученных результатов; относительного среднеквадратического отклонения (ОСКО) результатов измерений от среднего, характеризующего в основном равномерность подачи пробы и однородность распределения аналита в массе СО; диапазоны вариации этих характеристик.

ОСП вычислялась как отношение разницы между аттестованным и измеренным значением содержания к аттестованному значению. Минимальные и максимальные значения ОСП находились по всем СО в обоих тестовых выборках. В таблице 2.1 представлены интервальные оценки ОСП и ОСКО для разных элементов. Цветом отмечено уменьшение размаха ОСП спектрометра «Гранд-2000» относительно спектрометра «Гранд».

Анализ данных, представленных в таблице 2.1, показал, что при использовании высокоразрешающего спектрометра «Град-2000» для анализа разнотипных геологических проб наблюдается как уменьшение ОСП ре-

зультатов определения массовой доли элементов, так и увеличение. Уменьшение ОСП наблюдается для проб со спектральными наложениями линий мешающих элементов. Помимо снижения ОСП для ряда элементов (Ni, Co, As, Sn, Mo, Cr) обнаруживалось и ее увеличение по модулю. Данные изменения могут свидетельствовать о наличии дополнительных неучтенных факторов. Полученные результаты указывают также на необходимость проведения дальнейших исследований.

Табл. 2.1. Метрологические характеристики определения элементов

Элемент	Спектрометр «Гранд»		Спектрометр «Гранд-2000»	
	ОСП, %	ОСКО, %	ОСП, %	ОСКО, %
Ag	-55 ÷ 35	0 ÷ 14	-47 ÷ 28	0 ÷ 32
Cu	-31 ÷ 410	0 ÷ 23	-38 ÷ 80	1 ÷ 27
Pb	-31 ÷ 150	0 ÷ 32	-27 ÷ 55	0 ÷ 29
Zn	-85 ÷ 88	0 ÷ 31	-67 ÷ 46	0 ÷ 26
Ni	-25 ÷ 67	0 ÷ 15	-21 ÷ 93	0 ÷ 21
Co	-56 ÷ 130	0 ÷ 22	-41 ÷ 170	0 ÷ 27
As	-24 ÷ 38	0 ÷ 37	-39 ÷ 42	1 ÷ 22
Sn	-35 ÷ 50	0 ÷ 27	-55 ÷ 70	1 ÷ 27
Sb	-59 ÷ 70	0 ÷ 27	-45 ÷ 60	0 ÷ 31
Mo	-12 ÷ 13	0 ÷ 35	-44 ÷ 29	0 ÷ 34
Cr	-55 ÷ 71	0 ÷ 24	-77 ÷ 190	0 ÷ 20
Cd	-44 ÷ 100	0 ÷ 24	-19 ÷ 35	1 ÷ 27

Публикации:

1. Babin S.A., Selyunin D.O., Labusov V.A. High-Speed Multichannel MAES Analyzers Based on BLPP-2000 and BLPP-4000 Photodetector Arrays // *Inorganic Materials*. – 2020. – Vol. 56, № 14. – P. 1431–1435.
2. Zarubin I.A., Labusov V.A., Babin S.A. Characteristics of Compact Spectrometers with Diffraction Gratings of Different Types // *Inorganic Materials*. – 2020. – Vol. 56, № 14. – P. 1436–1440 (<https://doi.org/10.1134/S0020168520140162>).
3. Vashchenko P.V., Labusov V.A., Garanin V.G., Borisov A.V. Expansion of the Element Content Range through the Use of Self-Absorption Lines // *Inorganic Materials*. – 2020. – Vol. 56, № 14. – P. 1441–1445.
4. Pelipasov O.V., Lokhtin R.A., Labusov V.A., Pelevina N.G. Analytical Capabilities of a Grand Spectrometer in Analysis of Solutions Using Inductively Coupled Plasma // *Inorganic Materials*. – 2020. – Vol. 56, № 14. – P. 1446–1449 (<https://doi.org/10.1134/S0020168520140113>).
5. Vashchenko P.V., Boldova S.S., Labusov V.A. A High-Speed Spectral Pyrometer Based on a Kolibri-2 Spectrometer // *Inorganic Materials*. – 2020. – Vol. 56, № 14. – P. 1450–1452.
6. Kuptsov A.V., Volzhenin A.V., Labusov V.A., Saprykin A.I. Optimization of operational parameters for the analysis of metals and alloys by atomic emission spectrometry on a two-jet arc plasmatron using spark ablation // *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. – 2021. – Vol. 177. – P. 106047 (3 p.). – DOI 10.1016/j.sab.2020.106047.

7. Bekhterev A.V., Kotkov R.V., Labusov V.A., Lokhtin R.A., P'yanov D.A., Strokov I.I. & Khranov M.S. DQE and eDQE of the KARS-BKS2 Digital Slot Scan X-Ray System // *Biomedical Engineering*. – 2021. – Vol. 55 (3). – P. 204–209.
8. Дзюба А.А., Додонов С.В., Лабусов В.А. Аналитические возможности спектрометра высокого разрешения «Гранд-2000» в дуговом атомно-эмиссионном анализе // *Аналитика и контроль*. – 2021. – Т. 25. – № 4. – С. 331–339. <http://dx.doi.org/10.15826/analitika.2021.25.4.009>
9. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Гаранин В.Г. Спектрометры с анализаторами МАЭС на основе новых линеек фотодетекторов // *Там же*. – С. 262–272. <http://dx.doi.org/10.15826/analitika.2021.25.4.002>
10. Бехтерев А.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н. Предприятию «ВМК-Оптоэлектроника» – 30 лет! // *Там же*. – С. 258–261. (<http://dx.doi.org/10.15826/analitika.2021.25.4.001>)
11. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н. Атомно-эмиссионные спектрометры с азотной микроволновой плазмой: монография; Новосибирский гос. технический ун-т, Ин-т автоматики и электрометрии СО РАН, ООО «ВМК-Оптоэлектроника». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 210 с.: ил. – 250 экз. – ISBN 978-5-7782-4449-8: Б.ц. УДК 681.785.5: 535.33.
12. Купцов А.В., Волженин А.В., Лабусов В.А., Сапрыкин А.И. Использование альтернативных способов ввода проб в плазму при анализе металлов и сплавов методом атомно-эмиссионной спектрометрии на двухструйном дуговом плазмотроне // *Сборник работ химиков-аналитиков «К 100-летию юбилею И.Г. Юделевича*. Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2020. – С. 40–44.
13. Бехтерев А.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н. Предприятию «ВМК-Оптоэлектроника» – 30 лет! // *Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности»* (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа 2021). – С. 5–8.
14. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Гаранин В.Г. Спектрометры с анализаторами МАЭС на основе новых линеек фотодетекторов // *Там же*. – С. 16–27.
15. Болдова С.С., Колосов Н.А., Лабусов В.А. Расширение диапазона определения элементов на атомно-абсорбционном спектрометре «Гранд-ААС» с использованием нескольких их линий поглощения // *Там же*. – С. 152–161.
16. Купцов А.В., Медведев Н.С., Лабусов В.А., Сапрыкин А.И. Использование электротермического испарения для анализа теллура методом атомно-эмиссионной спектрометрии на двухструйном дуговом плазмотроне // *Там же*. – С. 179.
17. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Зарубин И.А. Новый атомно-эмиссионный спектрометр «Гранд-2000» // *Там же*. – С. 187–197.
18. Дзюба А.А., Додонов С.В., Лабусов В.А. Возможности применения высокоразрешающего спектрометра «Гранд-2000» // *Там же*. – С. 198–208.
19. Бабин С.А., Лабусов В.А., Селюнин Д.О., Пелипасов О.В. Расширение динамического диапазона анализаторов МАЭС на основе линеек фотодетекторов БЛПП-2000 и БЛПП-4000 // *Там же*. – С. 209–220.
20. Ващенко П.В., Лабусов В.А., Безруков А.Д. Измерение интенсивности спектральных линий по дискретным отсчётам линейчатого спектра // *Там же*. – С. 221–225.
21. Ващенко П.В., Лабусов В.А., Бабин С.А., Шиманский Р.В. Апертурные характеристики линеек фотодетекторов БЛПП-2000 и БЛПП-4000 // *Там же*. – С. 226–228.
22. Колосов Н.А., Болдова С.С., Лабусов В.А. Оценка возможности контроля температуры электротермического атомизатора по сигналам поглощения элементов // *Там же*. – С. 235–242.
23. Комин О.В., Пелипасов О.В. Влияние 1% Na на распределение интенсивностей атомов пробы в азотной микроволновой плазме при аксиальном и радиальном способе наблюдения // *Там же*. – С. 81–92.

24. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Зарубин И.А. Оптическая спектрометрия с анализаторами МАЭС на основе новых линеек фотодетекторов // XI Всероссийская научная конференция и школа «Аналитика Сибири и Дальнего Востока», посвященная 100-летию со дня рождения И.Г. Юделевича (АСиДВ-11) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 августа, 2021): сборник тезисов докладов. – 2021. – С. 30. – ISBN 978-5-901688-23-6. (http://dx.doi.org/10.26902/ASFE-11_20)
25. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Саушкин М.С., Скоробогатов Д.Н., Семёнов З.В., Пелевина Н.Г. Атомно-эмиссионные спектрометры «Гранд-ИСП» и «Гранд-СВЧ» для анализа растворов // Там же. – С. 34 (http://dx.doi.org/10.26902/ASFE-11_24).
26. Купцов А.В., Волженин А.В., Лабусов В.А., Сапрыкин А.И. Возможности метода атомно-эмиссионной спектрометрии на двухструйном дуговом плазмотроне с искровым пробоотбором // Там же. – С. 86 (http://dx.doi.org/10.26902/ASFE-11_69).

Изучение процессов доплеровского послыйного кодирования и коллинеарной гетеродинной обработки восстановленных и референтных волновых фронтов путем компьютерного моделирования. Разработка действующего прототипа лазерного гетеродинного «томографа» и его программного обеспечения. Создание образцов тестовых объемных решеток, а также тонких решеток для исследования аппаратной функции томографа в проходящих пучках

Изучение указанных процессов проводилось на примере анализа рассеивающих свойств толстых материалов/решеток в режиме прохождения двух освещающих когерентных световых пучков. Коллинеарное гетеродинирование рассеянного излучения осуществлялось на светочувствительной поверхности многоэлементного матричного фотоприемника 744×576 элементов. Показано, что в этом случае возможности метода лазерной гетеродинной томографии существенно расширяются: он позволяет восстанавливать поле рассеянного излучения в каждом из слоев анализируемой решетки в виде изображения, содержащего 744×576 пикселей, провести измерение амплитуды и фазы рассеянного излучения во всех 428 544 «точках» этих изображений и наблюдать динамику изменения поля рассеянного излучения во времени.

Блок-схема прототипа (макета) гетеродинного томографа с матричным фотоприемником показана на рис. 2.10. На этапе 2021 года основное внимание было уделено автоматизации процессов: проверка (тестирование) готовности элементов к работе; установка, перемещения и юстировка исследуемых образцов; генерация, частотная модуляция, пространственное перемещение освещающих лазерных пучков; послыйный анализ рассеивающих свойств образцов; получение, обработка и отображение результатов томографического анализа.

В качестве источника излучения I использован полупроводниковый лазер SANTO DL6147-040 с длиной волны $\lambda = 658$ нм. Режимы работы – непрерывный и импульсный.

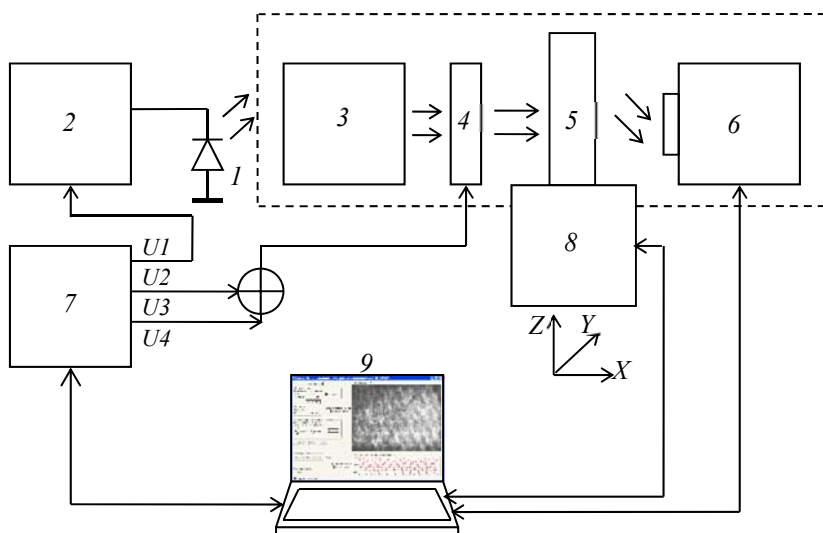


Рис. 2.10. Структурная схема прототипа томографа: 1 – полупроводниковый лазер, 2 – блок питания полупроводникового лазера, 3 – оптическая система, 4 – акустооптический дефлектор, 5 – исследуемая среда, 6 – видеокамера с ПЗС-матрицей, 7 – цифровой генератор-синтезатор, 8 – 3D-нанопозиционер, 9 – компьютер

Прецизионное перемещение (и юстировка) исследуемого образца 5 осуществляется с помощью трехкоординатного нанопозиционера 8 – Nano-3D500 фирмы MadCityLabs с диапазоном перемещения 500 мкм по всем трем осям и минимальным шагом 20 нм.

В качестве гетеродинного фотодетектора 6 используется видеокамера с ПЗС-матрицей 744×576 пикселей, размер пикселя 8.6×8.3 мкм. Максимальная частота съемки 25 Гц. Объем встроенной памяти – 8 МБ. Скорость передачи данных – до 25 МБ/с.

Разработан пакет программ управления работой отдельных элементов и всего макета томографа в целом. Связь с компьютером 9 осуществляется по интерфейсу USB 2.0.

Совместно с НИОХ СО РАН проведено исследование механизма записи объемных микрорешеток в толстых (100–150 мкм) слоях нового фотополимерного материала (ФПМ) в режиме экспонирования мощными наносекундными импульсами света. ФПМ представлял собой полимерный раствор органических компонент в матрице поливинилацетата [1].

Запись объемных микрорешеток проводилась в ФПМ на глубине 40–60 мкм одним световым импульсом ($\lambda = 532$ нм), считывание – на длине волны 660 нм. Размер микрорешетки в плоскости среды составлял $X \times Y = 0.8 \times 1.2$ мкм², а по глубине – $Z = 4.5$ мкм. Было показано, что запись в ФПМ проходит в режиме одноступенчатого синглет-триплетного поглощения и при суммарной интенсивности на уровне 12 ГВт/см² значение ам-

плитуды модуляции показателя преломления – $\Delta n = 1.3 \times 10^{-3}$. Чувствительность исследуемого ФПМ, определяемая как отношение амплитуды модуляции показателя преломления к суммарной световой энергии, в 10 раз превышала чувствительность известных ФПМ с двухфотонным катионным раскрытием цикла и была в 60 раз выше, чем у ФПМ с двухфотонной свободнорадикальной полимеризацией [2–4].

Созданы образцы халькогенидных тонких (0.5 мкм) дифракционных решеток с синусоидальным фазовым профилем. Параметры решеток: период – 2 мкм, толщина регистрирующего слоя – 0.5 мкм, подложка – оксидное стекло К-8 толщиной 1.5 мкм, размеры рабочего поля – 5×5 мм² и более (10×20 мм²), дифракционная эффективность от 1 до 30 %, уровень паразитного рассеяния на рабочей длине волны 650 нм – 5×10^{-6} [5].

Публикации:

1. Steinberg I.Sh., Vasilyev E.V., Shelkovnikov V.V., and Kargapolova I.Yu. Use of Forbidden Singlet-Triplet Electron Transitions in Photopolymer Material for Holographic Recording with High Intensity Nanosecond Laser Pulses // Optics Communications. – 2022. – Vol. 505. – P. 127540.
2. Деревянко Д.И., Пен Е.Ф., Шелковников В.В., Алиев С.И. Тонкослойные голографические фотополимерные материалы с большим изменением показателя преломления // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 6. – 29–37.
3. Пен Е.Ф. Эффективная энергия голографической записи с учётом темновой поляризации // X Международная конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, 27–29 января, 2021): сборник научных трудов. – 2021. – С. 459–460.
4. Деревянко Д.И., Пен Е.Ф., Шелковников В.В. Голографический фотополимерный материал с большой модуляцией показателя преломления // HOLOEXPO 2021. XVIII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (г. Геленджик, Россия, 20–23 сентября, 2021): Тезисы докладов. – 2021. – С. 243–247.
5. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Формирование фазовых профилей дифракционных элементов высокого порядка дифракции в халькогенидных слоях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021): Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика–2021. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей. – С. 204–209. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-204-209.

ПРОЕКТ: Физические основы лазерных и сенсорных систем с использованием структурированных волоконных световодов и микрорезонаторов.

№ гос. рег. 121030500067-5

Исполнители проекта:

Лаборатория волоконной оптики

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

Создание сложных 2D-3D-структур в оптических волокнах, внутри прозрачных материалов и на поверхности с помощью фемтосекундного лазерного излучения

Исследованы механизмы взаимодействия фемтосекундного (фс) лазерного излучения с веществом как при модификации поверхности материала, так и при объемной модификации в случае прозрачных для лазерного излучения материалов.

Созданы 2D-3D-структуры показателя преломления со сложной геометрией внутри пассивных световодов для разработки элементов сенсорных систем на их основе. В частности, созданы массивы из 16 волоконных брэгговских решеток (ВБР) с расстоянием между соседними ВБР 5 мм (рис. 2.11) и массивы из 40 ВБР с расстоянием между соседними ВБР 0.05 мм в полиимидном пассивном волокне для измерения поля температуры с высоким пространственным разрешением в режиме реального времени и контроля дозы воздействия при проведении процедуры радиочастотной абляции на биологических тканях. Также созданы массивы ВБР в 7-сердцевинном световоде, записанные в разных сердцевинах, для применений как в 3-мерных сенсорах, так и многосердцевинных лазерах [1–7].

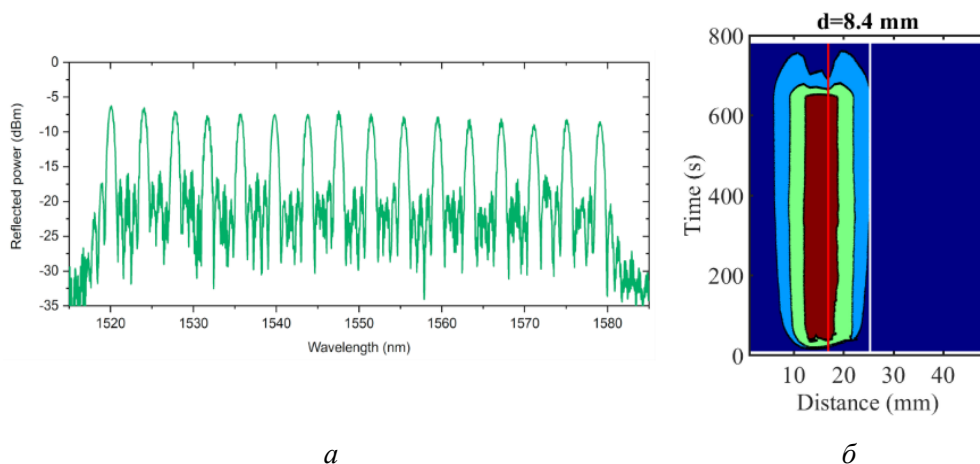


Рис. 2.11. Спектр отражения массивов из 16 ВБР в полиимидном пассивном волокне для измерения поля температуры с высоким пространственным разрешением в режиме реального времени (а), динамика изменения температуры при измерении сенсорной системой на основе массива ВБР (б)

Исследовано формирование лазерно-индуцированных поверхностных периодических структур (ЛИПС) на тонких пленках гафния (15–20 нм) в окружающей атмосфере, вакууме и азоте под давлением. Для записанных ЛИПС, имеющих период ≈ 700 нм, даны количественные оценки упорядоченности, коллинеарности, дефектности получаемых структур.

Детально исследовано формирование ЛИППС на пленках циркония, а также многослойных металл-диэлектрических системах в различных конфигурациях с использованием хрома, оксида кремния и гафния. В случае пленок циркония наблюдается образование высокоупорядоченных ЛИППС с периодом ≈ 680 нм, а также возрастание периода до ~ 900 нм при увеличении толщины пленки с 50 до 170 нм. В случае многослойных систем проведено систематическое исследование зависимости морфологии структур от конфигурации (металл, металл-диэлектрик, металл-диэлектрик-металл), от толщины слоев при различной мощности излучения и скорости сканирования. Показано, что система из двух сопряженных гиперболических метаматериалов может быть использована для построения субволнового изображения точечного источника в видимом диапазоне. Предлагаемая конфигурация состоит из двух анизотропных одноосных фотонных кристаллов: многослойной металл-диэлектрической структуры и присоединенной к ней стержневой структуры (рис. 2.12, *a*).

Результаты аналитических расчетов и численного моделирования показывают, что свет, излучаемый электрическим диполем, помещенным сверху многослойной структуры, распространяется в узком конусе вдоль направления \mathbf{n} , где $\text{Re}[\varepsilon(\omega, \mathbf{n})]=0$. Благодаря согласованию импедансов и отрицательного преломления на границе раздела двух метаматериалов яркое изображение с максимальным поперечным размером приблизительно 50 нм фокусируется в стержневой структуре при длине волны излучения $\lambda = 670$ нм (рис. 2.12, *з*). Предложенная схема построения изображения может быть использована для создания плоских гиперлинз с субволновым разрешением и других устройств субволновой оптики [8–10].

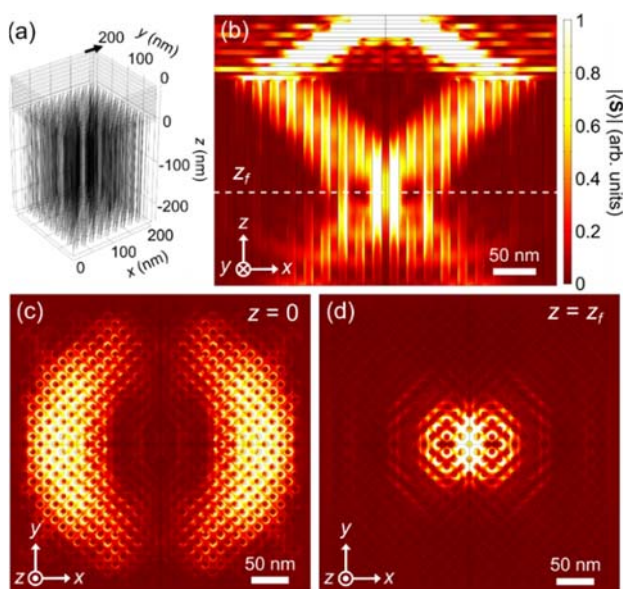


Рис. 2.12. Схематичное изображение моделируемой системы (черной стрелкой показан излучающий диполь) (*a*), пространственные распределения модуля усредненного вектора Пойнтинга в различных плоскостях (*b–z*)

Исследованы новые режимы волоконных фемтосекундных лазеров в различных областях длин волн в световодах разного типа, в том числе с использованием эффектов комбинационного рассеяния (ВКР) и четырехволнового смешения (ЧВС). В частности, реализованы различные схемы задающего волоконного эрбиевого генератора оптических импульсов с центральной длиной волны 1.55 мкм. Получены режимы солитонов, управляемых дисперсией (Dispersion-Managed Solitons), сильночирпованных диссипативных солитонов (СЧДС), а также шумоподобных импульсов. Проведены эксперименты по увеличению энергии импульсов за счет удлинения резонатора. Продемонстрировано увеличение энергии с 0.9 до 3.3–3.9 нДж в широком диапазоне параметров резонатора. Экспериментально и численно исследована возможность усиления СЧДС, определены параметры оптимальной конфигурации усилителя, позволяющей получить усиление в 24 дБ без значительных нелинейных искажений импульсов. Усиленное излучение будет использоваться в качестве накачки внешнего резонатора для получения СЧДС с длиной волны вблизи 1.7 мкм посредством эффекта ВКР.

При исследовании четырехволнового смешения (ЧВС) в оптических волокнах и построении волоконного оптического параметрического генератора (ВОПГ) активно применялись методы численного моделирования. Отлажен запуск расчётов с использованием графических ускорителей (GPU), что снижает время счёта более чем в 50 раз. Построена численная модель ВОПГ с расчётным спектральным окном от 433 до 3100 нм, включающим 2 млн. точек (2^{21}) с двойной точностью. Численно определена кривая синхронизма (рис. 2.13, а), стабильные и нестабильные режимы генерации (рис. 2.13, б, в) [11–14].

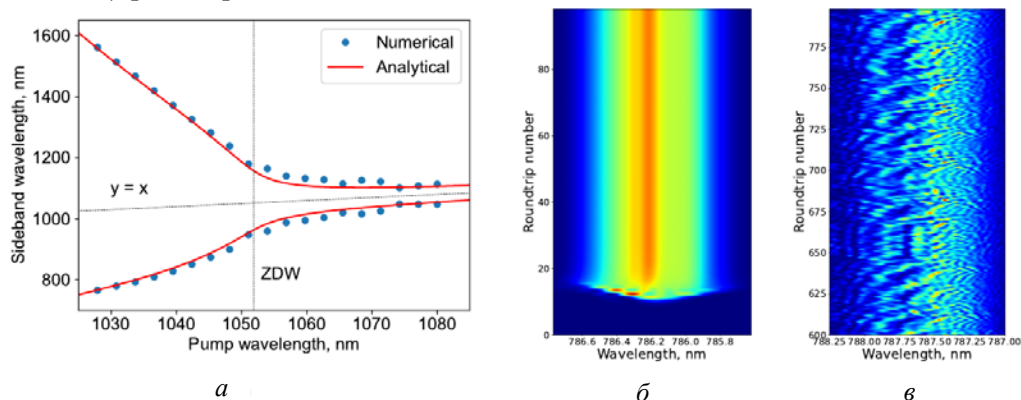


Рис. 2.13. Аналитическая (сплошная линия) и численная (точки) кривые синхронизма фотонно-кристаллического волокна при мощности накачки в 600 Вт (а); стабильный (б) и нестабильный (в) режимы работы ВОПГ

В части методов оптического анализа и обработки сигналов реализован и автоматизирован метод модовой декомпозиции (МД) лазерного пучка, позволяющий получать распределения амплитуд и фаз возбуждённых поперечных мод волокна с градиентным профилем показателя преломления. Проведены предварительные эксперименты по МД для геликоидальных пучков, получаемых путём введения излучения под углом и с отстройкой от центра, где показана возможность измерения орбитального момента [15–18].

Исследование режимов усиления и генерации в структурированных волокнах с использованием активных сред и эффекта ВКР

Исследована и оптимизирована генерация иттербиевого волоконного лазера с регулярной распределенной обратной связью (РОС) на основе ВБР со сдвигом фазы в одномодовом активном световоде и гольмиевого волоконного лазера в линейной конфигурации резонатора на основе активного световода с двойной оболочкой. Впервые осуществлен распределенный мониторинг температуры с пространственным разрешением до 1 мм внутри резонаторов во время работы лазеров с помощью оптического рефлектометра LUNA OBR4600 и разработанного алгоритма вычисления температуры из данных рэлеевского рассеяния. Для РОС-лазера наблюдается сильная неоднородность температуры вдоль распределенного резонатора, достигающая 37 °С при мощности накачки 526 мВт (рис. 2.14) и существенно уменьшающая эффективность генерации. При погружении резонатора в спирт величина неоднородности уменьшается до 10 °С, а выходная мощность генерации возрастает в 4 раза, при этом максимум температуры расположен в точке фазового сдвига ВБР. В гольмиевом волоконном лазере при мощности накачки 6 Вт неоднородность температуры достигает ~60 °С и 24 °С для световодов с высокой концентрацией ($7 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$) и низкой концентрацией гольмия ($2 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$) соответственно, при этом было обнаружено заметное влияние на температуру крепежа волоконного световода к элементам конструкции [19–22].

Исследована динамика распространения многомодовой (ММ) волны накачки и генерации стоксова излучения в непрерывном ВКР-лазере на основе ММ градиентного волокна с линейным и полуоткрытым резонатором со случайной распределенной обратной связью (СРОС) на рэлеевском рассеянии. Показано, что из-за случайной связи поперечных мод пучок многомодовой накачки принимает параболическую форму на входе, а вследствие ВКР-преобразования в его выходном профиле формируется провал, уширенный из-за случайной связи мод. При этом генерируемый стоксов пучок заметен уже из-за влияния нелинейных эффектов и пространственной фильтрации выходной ВБР или рэлеевской СРОС в линейном или полуоткрытом резонаторе соответственно, как в непрерывном, так и в импульсном режиме [23–25].

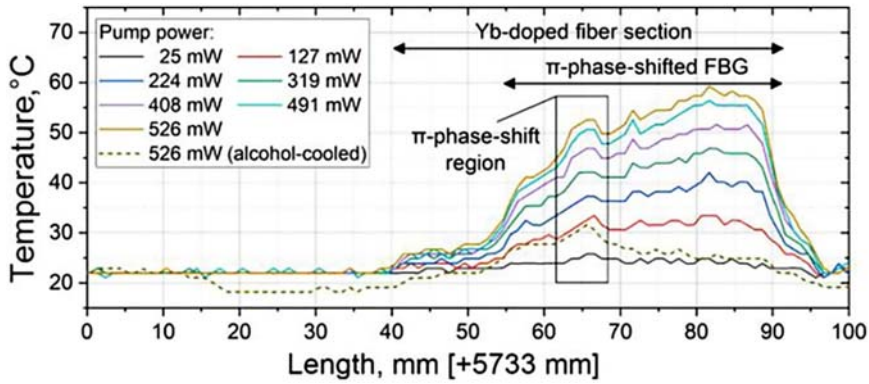


Рис. 2.14. Измеренное оптическим рефлектометром распределение температуры вдоль активного иттербиевого световода с РОС-лазером на воздухе (сплошные линии) и в спирте (штриховая линия), при максимальной накачке 526 мВт

Исследование возможности создания волоконно-интегрированных микро-резонаторов и перестраиваемых/одночастотных лазеров на их основе

Разработаны методы изготовления торцевых линейных микрорезонаторов и волоконно-интегрированных отражательных интерферометров (ОИ), в том числе с использованием микрооптоэлектромеханических систем (МОЭМС). Предложен вариант ОИ в схеме Кречмана в качестве сенсора коэффициента преломления окружающей среды. Структура сенсора выполнялась в виде ОИ, расположенного на грани призмы (рис. 2.15, а).

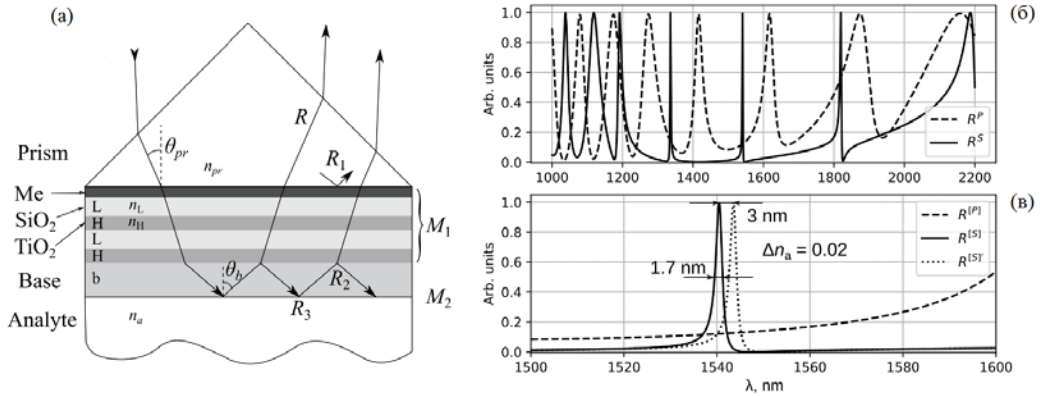


Рис. 2.15. а – оптическая схема сенсора на основе наклонного ОИ: *Prism* – призма (n_{pr}), *Me* – тонкая металлическая пленка, многослойное диэлектрическое покрытие из материала с высоким (H , n_H) и низким (L , n_L) коэффициентами преломления, b , *Base* – базовый слой (n_b), a , *Analyte* – аналит (n_a), θ_{pr} – угол падения в призме, θ_b – угол падения в базовом слое, $R_{1,2}$ – коэффициенты отражения зеркала M_1 , R_3 – зеркала M_2 ; б – расчетный спектр коэффициентов отражения интерферометра R для двух поляризаций в спектральном диапазоне: 1000–2200 нм (б), 1500–1600 нм. Пунктиром показан спектрально смещенный пик при изменении n_a на 0.02 RIU

При наклонном падении света в отражении можно наблюдать узкие светлые полосы на темном фоне (рис. 2.15, б). При изменении коэффициента преломления аналита пик отражения сдвигается либо по спектру для спектрального варианта (рис. 2.15, в), либо по углу для углового варианта сенсора. Аналитически показано, что данная структура потенциально может иметь очень высокие параметры качества (figure of merit, FOM) $FOM > 10^4$, что превосходит аналогичные параметры для известных типов сенсоров [26–30].

Результаты проекта также использовались при написании главы в книге [31].

Публикации:

1. Kokhanovskiy A., Shabalov N., Dostovalov A.V., Wolf A.A. Highly Dense FBG Temperature Sensor Assisted with Deep Learning Algorithms // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21, is. 18. – P. 6188. – DOI 10.3390/s21186188.
2. Korganbayev S., Orrico A., Bianchi L., Paloschi D., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Saccomandi P. PID controlling approach based on FBG array measurements for laser ablation of pancreas tissues // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 2021. – Vol. 70. – P. 7006409. – DOI 10.1109/TIM.2021.3112790.
3. Ashikbayeva Z., Aitkulov A., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Amantayeva A., Kurbanova A., Inglezakis V.J., Tosi D. Investigation of thermal effects of radiofrequency ablation mediated with iron oxide nanoparticles dispersed in agarose and chitosan solvents // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, Is. 5. – P. 2437 DOI 10.3390/app11052437.
4. Достовалов А.В., Симонов В.А., Окотруб К.А., Вольф А.А., Немов И.Н., Скворцов М.И., Коробейников М.В., Брызгин А.А., Михайленко М.А., Бабин С.А. Исследование воздействия β -излучения на волоконные брэгговские решетки, записанные фемтосекундным лазерным излучением // *Прикладная фотоника*. – 2021. – Т. 8, № 2. С. 5–18.
5. Churin A.E., Nemov I.N., Skvortsov M.I. Glue independent FBG sensor with enhanced stability // *Optical Fiber Technology*. – 2021. – Vol. 64. – P. 102533. – DOI 10.1016/j.yofte.2021.102533.
6. Korganbayev S., Orrico A., Bianchi L., DeLandro M., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Saccomandi P. Feedback-controlled thermal therapy of tissues based on fiber Bragg grating thermometers // *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications, MeMeA 2021 (Lausanne, Virtual, June 23–25, 2021)*. – 9478749. – DOI: 10.1109/MeMeA52024.2021.9478749.
7. Dostovalov A.V., Skvortsov M.I., Wolf A.A., Labuntsov V.I., Egorova O., Semjonov S., Wabnitz S., Babin S.A. Raman fiber laser based on a 7-core fiber with fs-inscribed regular and random structures // *OSA Technical Digest. Conference on Lasers and electro-optics – Europe & European quantum electronics conference (CLEO-Europe/EQEC 2021) (June 21–25, 2021): virtual meeting*. – P. 136. – DOI 10.1109/CLEO-Europe-EQEC52157.2021.9542363.
8. Belousov D.A., Bronnikov K.A., Okotrub K.A., Mikerin S.L., Korolkov V.P., Terentyev V.S., Dostovalov A.V. Thermochemical laser-induced periodic surface structures formation by femtosecond laser on Hf thin films in air and vacuum // *Materials*. – 2021. – Vol. 14, is. 21. – Paper. 6714. – P. 1–16. – DOI 10.3390/ma14216714.
9. Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Okotrub K.A., Korolkov V.P., Babin S.A. Formation of thermochemical laser-induced periodic surface structures on zirconium films by focused femtosecond laser beam // *OSA Technical Digest. Conference on Lasers and electro-optics – Europe & European quantum electronics conference (CLEO-Europe/EQEC 2021) (June*

- 21–25, 2021): virtual meeting. – P. CM-P.19 FRI. – P. 173. – DOI 10.1109/CLEO/Europe-EQEC52157.2021.9542552.
10. Bronnikov K.A., Arriaga J., Krokhin A., Drachev V.P. Sub-Diffraction-Limit Imaging System with two Interfacing Hyperbolic Metamaterials // *Physical Review Applied*. – 2021. – Vol. 16, is. 4. – P. 044054. – DOI 10.1103/PhysRevApplied.16.044054.
 11. Koliada N.A., Pivtsov V.S., Kuznetsov S.A., Filonov A.A., Farnosov S.A., Kolyada I.M., Primakov D.Yu., Dychkov A.S., Kharenko D.S., Zhdanov I.S. Er: fiber femtosecond frequency comb for an Yb+ single-ion optical frequency standard // *Las. Phys. Lett.* – 2022. – Vol. 19, № 1. P. 015102. – DOI: 10.1088/1612-202X/19/1/015102.
 12. Zhdanov I.S., Bednyakova A.E., Volosi V.M., Kharenko D.S. Energy scaling of an erbium-doped mode-locked fiber laser oscillator // *OSA Continuum*. – 2021. – Vol. 4, is. 10. – P. 2663–2670. – DOI 10.1364/OSAC.441262.
 13. Zhdanov I.S., Volosi V.M., Kharenko D.S. Tunable highly chirped dissipative soliton erbium fiber source // 29th Annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'21) (July 19–23, 2021, virtual). – P. S8.1.2.
 14. Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Zhdanov I., Efremov V.D., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Babin S.A. Raman Dissipative Solitons – chapter 7 in “Dissipative Optical Solitons” (Mario F.S. Ferreira, Editor), Springer, 2021 (in print)
 15. Gervaziev M.D., Zhdanov I.S., Kharenko D.S., Gonta V.A., Babin S.A., Volosi V., Podivilov E.V., Wabnitz S. Mode decomposition of multimode optical fiber beams by phase-only spatial light modulator // *Laser physics letters*. – 2021. – Vol. 18, № 1. – P. 015101. – DOI 10.1088/1612-202X/abcf27.
 16. Mangini F., Ferraro M., Zitelli M., Niang A., Mansuryan T., Tonello A., Couderc V., De Luca A., Babin S.A., Frezza F., Wabnitz S. Helical plasma filaments from the self-channeling of intense femtosecond laser pulses in optical fibers // *Opt. Lett.* – 2021 (published online): DOI: 10.1364/OL.445321.
 17. Kharenko D.S., Gervaziev M.D., Zhdanov I., Podivilov E.V., Babin S.A., Wabnitz S. Mode decomposition of Kerr self-cleaned beams by phase only SLM // Там же. – Vol. 11671: Real-time Measurements, Rogue Phenomena, and Single-Shot Applications VI, SPIE LASE, 2021, Online Only. – P. 1167105. – DOI 10.1117/12.2578240.
 18. Gervaziev M.D., Zhdanov I.S., Kharenko D.S., Podivilov E.V., Babin S.A., Wabnitz S. Mode dynamics during transition into Kerr self-cleaning regime for laser beams propagated in a multimode GRIN fiber // *OSA Technical Digest. Conference on Lasers and electro-optics – Europe & European quantum electronics conference (CLEO-Europe/EQEC 2021)*, (June 21–25, 2021): virtual meeting. P. EF-P.3 THU. – P. 141. – DOI 10.1109/CLEO/Europe-EQEC52157.2021.9542580.
 19. Kamynin V., Wolf A., Skvortsov M., Filatova S., Kopyeva M., Vlasov A., Tsvetkov V., Babin S. Distributed Temperature Monitoring Inside Ytterbium DFB and Holmium Fiber Lasers // *Journal of Lightwave Technology*. – 2021. – Vol. 39, is. 18. – P. 5980–5987. – DOI 10.1109/JLT.2021.3095396.
 20. Kamynin V., Wolf A.A., Skvortsov M.I., Filatova S., Kopyeva M., Tsvetkov V., Babin S.A. Distributed Temperature Measurements in Holmium-doped Fiber Lasers // *OSA Technical Digest. Conference on Lasers and electro-optics – Europe & European quantum electronics conference (CLEO-Europe/EQEC 2021)*, (June 21–25, 2021): virtual meeting. – P. CJ-P.8 THU. – P. 143.
 21. Владимирская А.Д., Скворцов М.И., Вольф А.А., Камынин В.А., Лобач И.А., Каблук С.И. Влияние концентрации ионов гольмия на эффект самосканирования длины волны в гольмиевом волоконном лазере // *Прикладная фотоника*. – 2020. – Т. 7, № 4. С. 76–85.

22. Babin S.A., Kuznetsov A.G., Wolf A.A., Skvortsov M.I., Dostovalov A.V., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Wabnitz S. Fiber lasers with regular and random distributed feedback // Optical Fiber Communication Conference and Exhibition (OFC) (San Francisco, USA, June 6–11, 2021): Proceedings. – 2021. – P. 9489402.
23. Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Brightness enhancement and beam profiles in an LD-pumped graded-index fiber Raman laser // OSA Continuum. – 2021. – Vol. 4, is. 3. – P. 1034–1040. – DOI 10.1364/OSAC.421985.
24. Chen Y., Fan C., Yao T., Xiao H., Leng J., Zhou P., Nemov I.N., Kuznetsov A.G., Babin S.A. Brightness enhancement in random Raman fiber laser based on a graded-index fiber with high-power multimode pumping // Optics letters. – 2021. – Vol. 46, Is. 5. – P. 1185–1188. – DOI 10.1364/OL.416740.
25. Горбунов О.А., Чуркин Д.В. О механизме влияния нелинейных взаимодействий на статистические свойства излучения волоконного ВКР-лазера // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 343–344. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-343-344.
26. Терентьев В.С., Симонов В.А. Угловые характеристики сенсора коэффициента преломления на основе отражательного интерферометра // Оптика и спектроскопия. – 2021. – Т. 129, № 10. – С. 1325–1330. – DOI 10.21883/OS.2021.10.51500.2186-21.
27. Терентьев В.С., Симонов В.А. Аналитическое описание спектральных характеристик сенсора коэффициента преломления на основе отражательного интерферометра // Оптика и спектроскопия. – 2021. – Т. 129, № 8. – С. 1089–1096. – DOI 10.21883/OS.2021.08.51207.1932-21.
28. Терентьев В.С., Симонов В.А. Спектральные характеристики наклонного отражательного интерферометра как сенсора показателя преломления // Оптика и спектроскопия. – 2021. – Т. 129, № 2. – С. 238–244. – DOI 10.21883/OS.2021.02.50564.232-20.
29. Симонов В.А., Терентьев В.С. Интерферометр Маха-Цандера на основе утоненного волокна для измерения показателя преломления жидкости // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 276–277. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-276-277.
30. Терентьев В.С., Симонов В.А. Численное моделирование оптических свойств отражательного интерферометра, сформированного в планарной гетероструктуре лазерного диода // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 4. – С. 19–36.
31. In the book “Handbook of laser technology and applications”. Second Edition (in 3 Volumes) / Edited by Chunlei Guo and Subhash Chandra Singh, CRC Press & Taylor & Francis Ltd, London, 320 p.:
Babin S.A., Bufetov I. Raman fiber lasers. Vol. 2. Laser design and laser systems. – 2nd. ed. – 2021. – P. 501–519.
<https://www.bookdepository.com/Handbook-Laser-Technology-Applications-Second-Edition-Chunlei-Guo/9781138032620?ref=grid-view&qid=1575446949185&sr=1-1>

ПРОЕКТ: Нелинейная фотоника структурированных сред (нелинейные преобразования частот, формирование поляризованных и когерентных состояний атомов).

№ гос. рег. 121031700030-4

Исполнители проекта:

Лаборатория физики лазеров

Тематическая группа газоанализа

Научный руководитель к.ф.-м.н. Микерин С.Л.

Электрооптические органические материалы ближнего ИК-диапазона и интегрально-оптические устройства на их основе

Изучены условия модификации различных хромофорсодержащих полимерных композиций под воздействием коронного разряда и повышенной температуры, в результате которого полимер приобретает электрооптические свойства. Комплекс оптимальных условий позволил добиться высокой оптической однородности образцов пленок, гладкой поверхности и однородности толщины (перепад 10 % на размере около 1 см) в условиях ограниченного расхода вещества. В образцах пленок поликарбоната с выбранными красителями достигалась высокая степень упорядоченности при модификации.

Материалы на основе синтезированных красителей показали высокие значения нелинейного коэффициента d_{33} (наилучший результат 77 пм/В), превышающие значение для коммерчески доступного DR-1, а также высокие долговременную и температурную стабильность [1]. Выявлено, что не наблюдается зависимости температуры, при которой нелинейно-оптический отклик еще сохраняется, от молекулы красителя, критическая температура определяется исключительно температурными свойствами полимерной матрицы.

Долгоживущие поляризованные состояния атомов в ячейках со структурированными покрытиями

В ячейках с парами рубидия и церезиновым покрытием стенок изучены особенности возбуждения долго затухающей флюоресценции при различных геометрических конфигурациях пучков бихроматического лазерного излучения [2, 3]. Эксперименты показали, что для возникновения долго затухающей флюоресценции обязательно прямое взаимодействие атомов как с пучком накачки, так и с зондирующим пучком, находящимися в резонансе с трехуровневой Λ схемой (переходы с $5^2P_{1/2}$ на подуровни основного состояния $5^2S_{1/2} F=3$ и $5^2S_{1/2} F=2$). Показано, что для возникновения данной особенности флюоресценции не обязательно пространственное совмещение пучка накачки и пробного пучка, что подтверждает представление о связи долго затухающей флюоресценции с возникновением долгоживущего поляризованного состояния атомов рубидия, не разрушающегося при многократных столкновениях с покрытием стенок. Изученные эффекты позволяют получать прямую информацию об антирелаксационных свойствах покрытия, а также давать рекомендации по допустимым размерам кюветы.

Эффективные лазерные системы на основе структурированных нелинейно-оптических материалов

Рассчитан и создан трехзеркальный резонатор титан-сапфирового лазера с повышенной степенью согласования излучения накачки от лазерного диода с модой резонатора для получения преобразования излучения лазера

в область 360–380 нм в кристалле LBO. С целью изучения оптимальных условий накачки исследованы спектры люминесценции кристаллов $Ti^{3+}:Al_2O_3$ при температурах вплоть до 77 К и лазерном возбуждении на длинах волн 405, 454 и 507 нм [4]. Установлено, что оптимальным при азотной температуре с точки зрения эффективности накачки является лазерный диод с длиной волны 454 нм, при которой квантовый выход люминесценции максимален.

Публикации:

1. Шелковников В.В., Микерин С.Л., Симанчук А.Э., Чубаков П.А., Коротаев С.В., Орлова Н.А., Бережная В.Н., Каргаполова И.Ю., Максимов А.М., Ищенко Р.А., Рязанов Н.Д. Нелинейно-оптические свойства полифтортрифенилпиразолин-дицианоизофороновых красителей в матрице поликарбоната // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 6. – С. 60–66. – DOI: 10.15372/AUT20210606.
2. [Атутов С.Н.], Сорокин В.А. Оптические релаксационные явления в парах рубидия, помещенных в кювету с антирелаксационным покрытием при бихроматическом лазерном облучении // ЖЭТФ (в печати).
3. [Atutov S.N.], Sorokin V.A. Effects of size and dimension in optic relaxation in Rb vapor // Journal of physics: conference series. – 2021. – Vol. 2067: The IX International symposium "Modern problems of laser physics" (MPLP 2021) (Novosibirsk, Russia, August 22–29, 2021). – P. 012004 (5 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/2067/1/012004.
4. Griбанov A.V., Nikolaev G.N., Mosin M., Yakovin D.V., Yakovin M.D. Fluorescence quantum efficiency of $Ti^{3+}:Al_2O_3$ at cryogenic temperatures and excitation by laser diodes // Там же. – P. 012010 (5 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/2067/1/012010.

ПРОЕКТ: Развитие методов оптической спектроскопии для задач материаловедения и биологической физики.

№ гос. рег. 121032400052-6.

Исполнители проекта:

Лаборатория спектроскопии конденсированных сред

Лаборатория информационной оптики

Научный руководитель чл.-корр. РАН Суровцев Н.В.

Комбинационное рассеяние света и рассеяние Мандельштама – Бриллюэна при исследовании фосфолипидных мембран и стеклюющихся материалов

Измерены низкочастотные спектры комбинационного рассеяния света (КРС) мембран насыщенного фосфолипида DMPC и рассеяния Мандельштама – Бриллюэна (РМБ) мембран ненасыщенного фосфолипида DOPC, и дана их интерпретация в терминах вклада латеральных акустических фононов. Измерены спектры КРС и РМБ дибутилфталата в широком температурном диапазоне, включающем стеклообразное и жидкое состояние. Показана связь интенсивности быстрой релаксации на 10 ГГц с амплитудой флуктуаций эффективной площади рассеяния. Анализ поведения

спектров КРС и РМБ водных растворов солей привел к выводу, что положение иона в ряду Гофмейстера не описывается изменением среднего расстояния кислород-кислород. Создана установка по измерению коэффициента диффузии в фосфолипидах методом FRAP.

Были проведены исследования быстрой релаксации в полимерном стеклющемся материале, полиизопрене. Эти данные сравнивались с результатами диэлектрической спектроскопии и позитрон-аннигиляционной спектроскопией [1]. Данные для РМБ от древнего янтаря (стеклющаяся смола) были проанализированы для определения коэффициента Пуассона; показано отклонение от соотношения Коши, которое было интерпретировано особенностями межмолекулярного взаимодействия [2]. Результаты для позиции линии РМБ, ширины линии РМБ, положение максимума в полосе ОН в водных растворах различных ионов из ряда Гофмейстера были сравнены с литературными данными по вязкости. Получено, что параметры РМБ хорошо коррелируют с вязкостным коэффициентом, а положение максимума – нет. Этот результат показывает, что положение иона в ряду Гофмейстера не описывается изменением среднего расстояния кислород-кислород.

Комбинационное рассеяние света при исследовании биологических мембран

Спектроскопия КРС позволила охарактеризовать изменения в липидном составе эмбрионов и ооцитов мыши и домашней кошки и выявить влияние этих изменений на фазовый переход липидов. Для решения этой задачи был предложен и реализован подход выделения липидного вклада с помощью метода главных компонент. По данным КРС культивирование с линолевой кислотой позволяет почти вдвое увеличить степень ненасыщенности липидов в эмбрионах мыши [3]. В случае богатых липидами эмбрионов домашней кошки из данных КРС следует оценка 10 % увеличения степени ненасыщенности. Показано, что добавление линолевой кислоты приводит к снижению температуры липидного фазового перехода, определенного по спектрам КРС. Предложен дизайн оптического стенда, совмещающего методы флуоресцентной микроскопии в УФ и видимом спектральном диапазоне, и спектроскопии КРС в диапазоне ближнего ИК.

Методы нелинейной оптической спектроскопии

Создан экспериментальный стенд для измерения спектров КАРС в многоканальном режиме при возбуждении субнаносекундным импульсным лазером. Определены температурные зависимости параметров генерации второй оптической гармоники в композитных сегнетоэлектриках (1-x)PMN-xPSN и связь этих параметров с сегнетоэлектрическим переходом. Развитые методы ГВГ применены к исследованиям новых композит-

ных структур и кристаллов. Предложены численные и аналитические решения для описания дипольных моментов и переключения поляризации в сегнетоэлектриках.

Представление о существовании полярных областей важно не только для растворов, но и при описании других эффектов в сегнетоэлектриках [4]. Развитые методы ГВГ были применены к исследованиям новых композитных структур на базе оксида индия [5], кристаллических боратов $\text{Rb}_3\text{Tm}_2\text{V}_3\text{O}_9$ [6] и селенидов $\text{AgLiGa}_2\text{Se}_4$ [7]. При исследовании кристаллов, синтезированных новым способом, использовался метод КРС, позволяющий описать колебательный спектр, а по ширине пиков сделать вывод о качестве кристаллов. В коллаборации с другими исследовательскими организациями так были исследованы кристаллы $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ [8]. Измерения КРС были сделаны для проверки численных расчётов колебательных мод в ряде актуальных материалов: кристаллов BaLaCuS_3 [9] и аллотропных форм фосфора [10].

Были развиты численные и аналитические методы для описания динамики дипольных моментов и переключения поляризации в сегнетоэлектриках под действием внешнего поля. Вычисления методом Монте Карло позволили выявить характерные особенности сегнетоэлектрического фазового перехода электрических диполей молекул воды, заключенных поодиночке в нанополости кристалла кордиерита [11]. Рассчитана диэлектрическая проницаемость иона в ангармоническом потенциале при различных значениях частоты и температуры, и показано, что данная модель соответствует уникальным экспериментальным данным для кристалла гексаферрита [12]. Предложена модификация эксперимента для субпикосекундного переключения сегнетоэлектрической поляризации импульсом инфракрасного лазера, где учтено влияние деполяризующего поля [13].

Методы терагерцовой спектроскопии

Разработан подход повышения быстродействия и точности импульсных терагерцовых спектрометров, основанный на применении узкополосных ТГц фильтров. Предложена конструкция фильтра, и рассчитаны его параметры. Исследованы терагерцовые оптические свойства нелинейного кристалла тетрабората лития ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) при комнатной температуре и температуре жидкого азота [14, 15]. Измеренные показатели преломления аппроксимированы в форме уравнений Зельмеера. На основе измеренных терагерцовых оптических свойств кристалла трибората висмута (BiB_3O_6) рассчитаны кривые фазового согласования для разностной генерации миллиметрового излучения при лазерной накачке на 1064 нм [16]. Определена эффективность преобразования лазерного излучения в нагрев в композитах, состоящих из золотых наночастиц с кварцевым покрытием, легированным кластерами Mo_6 [17, 18]. Исследованы ТГц свойства полупроводниковых

кристаллов $\text{Ga}_{50\%}\text{Se}_{50\%-x}\text{S}_x$ с различным процентным содержанием серы с целью применения их в качестве электрооптических детекторов терагерцового излучения [19]. Кристалл с 6-процентным легированием показал наибольшую эффективность для длины волны 1.55 мкм. Измеренные ТГц свойства кристаллов титанил арсената калия (KTiOAsO_4) позволили определить фазовый синхронизм в плоскости XZ для разностной генерации терагерцового излучения под действием лазерной накачки на длине волны 1.06 мкм. В рамках развития методов ТГц спектроскопии разработаны сенсоры на основе метаструктур для детектирования сложных биологических молекул в жидких образцах [20].

Публикации:

1. Svajdlenkova H., Sausa O., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V., Novikov V.N., Bartos J. On the mutual relationships between molecular probe mobility and free volume and polymer dynamics in organic glass formers: Cis-1,4-poly(isoprene) // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13, is. 2. – P. 294. – P. 1–24. – DOI: 10.3390/polym13020294.
2. Tkachev S.N., Ahart M., Novikov V.N., Kojima S. Pressure dependence of Poisson's ratio of glassy Baltic amber studied by Brillouin scattering spectroscopy // *Japanese Journal of Applied Physics*. – 2021. – Vol. 60, is. SD. – P. SDDA04. – DOI: 10.35848/1347-4065/abea4f.
3. Igonina T. N., Okotrub K.A., Brusentsev E.Y., Chuyko E.A., Ragaeva D.S., Ranneva S.V., Amstislavsky S.Y. Alteration of the lipid phase transition during mouse embryos freezing after in vitro culture with linoleic acid // *Cryobiology*. – 2021. – Vol. 99. – P. 55–63. – DOI 10.1016/j.cryobiol.2021.01.014.
4. Malinovsky V.K., Pugachev A.M., Surovtsev N.V. Nanometer structure as a key to various phenomena in ferroelectrics // *Ferroelectrics*. – 2021. – Vol. 575, is. 1. – P. 37–42. – DOI 10.1080/00150193.2021.1888224.
5. Feklistov K.V., Lemzyakov A.G., Prosvirin I.P., Gismatulin A.A., Shklyaev A.A., Zhivodkov Y.A., Krivyakin G.K., Komonov A.I., Kozhukhov A.S., Spesivsev E.V., Gulyaev D.V., Abramkin D.S., Pugachev A.M., Esaev D.G. Sidorov G.Yu. Nanowired structure, optical properties and conduction band offset of RF magnetron-deposited n-Si/In₂O₃: Er films // *Materials Research Express*. 2020. – Vol. 7, № 12. – P. 125903.
6. Subanakov A.K., Kovtunets E.V., Bazarov B.G., Pugachev A.M., Sofich D.O., Bazarova J.G. Exploration of structural, thermal and vibrational properties of new noncentrosymmetric double borate Rb₃Tm₂B₃O₉ // *Solid State Sciences*. – 2021. – Vol. 120. – 106719. – DOI: 10.1016/j.solidstatesciences.2021.106719.
7. Yelissev A., Lobanov S., Molokeevev M., Zhang S., Pugachev A., Lin Z., Vedenyapin V., Kurus A., Khamoyam A., Isaenko L. A New Nonlinear Optical Selenide Crystal AgLiGa₂Se₄ with Good Comprehensive Performance in Mid-Infrared Region // *Advanced Optical Materials*. – 2021. – Vol. 9, № 5. – P. 2001856.
8. Kokh K.A., Atuchin V.V., Adichtchev S.V., Gavrilova T.A., Bakhadur A.M., Klimov A.O., Korolkov I.V., Kuratieva N.V., Mukherjee S., Pervukhina N.V., Surovtsev N.V. Cu₂ZnSnS₄ crystal growth using an SnCl₂ based flux // *CrystEngComm*. – 2021. – Vol. 23, is. 4. – P. 1025–1032. – DOI: 10.1039/d0ce01264e.
9. Oreshonkov A.S., Azarapin N.O., Shestakov N.P., Adichtchev S.V. Experimental and DFT study of BaLaCuS₃: direct band gap semiconductor // *Journal of physics and chemistry of solids*. – 2021. – Vol. 148. – P. 109670 (7 p.). – DOI 10.1016/j.jpics.2020.109670.
10. Impellizzeri A., Vorfolomeeva A.A., Surovtsev N.V., Okotrub A.V., Ewels C.P., Rybkovskiy D.V. Simulated Raman spectra of bulk and low-dimensional phosphorus allotropes // *Physical*

- Chemistry Chemical Physics. – 2021. – Vol. 23, is. 31. – P. 16611–16622. – DOI: 10.1039/d1cp02636d.
11. Abalmasov V.A. Dipole ordering of water molecules in cordierite: Monte Carlo simulations // *Journal of Physics: Condensed Matter*. – 2021. – Vol. 33, is. 34. – P. 34LT01. – DOI 10.1088/1361-648X/ac06f0.
 12. Abalmasov V.A. Ferroelectric polarization reversal versus pump spot shape // *Physical Review B*. – 2021. – Vol. 104, is. 14. – P. A74. – DOI 10.1103/PhysRevB.104.L140102.
 13. Alyabyeva L.N., Prokhorov A.S., Vinnik S.A., Anzin V.B., Ahmed A.G., Mikheykin A., Bednyakov P., Kadlec C., Kadlec F., Prado E. de, Prokleska J., Proschek P., Kamba S., Pronin A.V., Dressel M., Abalmasov V.A., Dremov V.V., Schmid S., Savinov M., Lunkenheimer P., Gorshunov B.P. Lead-substituted barium hexaferrite for tunable terahertz optoelectronics // *NPG Asia Materials*. – 2021. – Vol. 13. – P. 63. – DOI 10.1038/s41427-021-00331-x.
 14. Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Андреев Ю.М., Ежов Д.М., Ланский Г.В., Лубенко Д.М., Киняевский И.О., Солнцев В.П. Оптические свойства и генерация терагерцового излучения в кристалле $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ // *Изв. вузов. Физика*. – 2020. – Vol. 63, № 12. – P. 21–24.
 15. Ezhov D., Turgeneva S., Nikolaev N., Mamrashev A., Mikerin S., Minakov F., Simanchuk A., Antsygin V., Svetlichnyi V., Losev V., Andreev Y. Potential of sub-THz-wave generation in $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ nonlinear crystal at room and cryogenic temperatures // *Crystals*. – 2021. – Vol. 11, is. 11. – P. 1321 (9 p.). – DOI 10.3390/cryst11111321.
 16. Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Antsygin V.D., Ezhov D.M., Lubenko D.M., Svetlichnyi V.A., Andreev Yu. M., Losev V.F. Millimetre-wave range optical properties of BIBO // *Journal of physics : conference series*. – 2021. – Vol. 2067: The IX International Symposium "Modern problems of laser physics" (MPLP 2021) (Novosibirsk, Russia, August 22–29, 2021). – P. 012011 (5 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/2067/1/012011.
 17. Novikova E.D., Vorotnikov Y.A., Nikolaev N.A., Tsygankova A.R., Shestopalov M.A., Efremova O.A. Synergetic effect of Mo_6 clusters and gold nanoparticles on photophysical properties of both components // *Chemistry – A European Journal*. – 2021. – Vol. 27, is. 8. – P. 2818–2825. – DOI 10.1002/chem.202004618.
 18. Novikova E.D., Vorotnikov Y.A., Nikolaev N.A., Tsygankova A.R., Shestopalov M.A., Efremova O.A. The role of gold nanoparticles' aspect ratio in plasmon-enhanced luminescence and the singlet oxygen generation rate of Mo_6 clusters // *Chemical Communications*. – 2021. – Vol. 57, is. 63. – P. 7770–7773. – DOI 10.1039/d1cc03347f.
 19. Shevchenko O.N., Nikolaev N.A., Kokh K.A. Detection of THz waves in GaSe:S crystals by femtosecond laser radiation with a telecom wavelength of 1.55 μm // *Journal of physics: conference series*. – 2021. – Vol. 2067: The IX International symposium "Modern problems of laser physics" (MPLP 2021) (Novosibirsk, August 22–29, 2021). – P. 012012 (6 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/2067/1/012012.
 20. Nemova E.A., Dultseva G.G., Nikolaev N.A., Cherkasova O.P. Effect of terahertz radiation on intermolecular interactions of albumin under aerobic and anaerobic conditions // *Journal of physics: conference series*. – 2021. – Vol. 2067: The IX International symposium "Modern problems of laser physics" (MPLP 2021) (Novosibirsk, Russia, August 22–29, 2021). – P. 012015 (6 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/2067/1/012015.

ПРОЕКТ: Развитие методов синтеза рельефно-фазовых поверхностных структур и оптических элементов на их основе.

№ гос. рег. 121041500060-2

Исполнители проекта:

Лаборатория дифракционной оптики

Научный руководитель **к.т.н. Насыров Р.К.**

Целью настоящего проекта являлась разработка перспективных технологий и методов для изготовления дифракционной оптики, а также конформальных элементов и микролинзовых растров. Также разрабатывалась методика изготовления и контроля матриц для создания интраокулярной линзы. В процессе работы проведена модернизация лазерных записывающих систем, разработано новое программное обеспечение, позволившее увеличить точность и скорость изготовления оптических элементов. Кроме того, унифицирован процесс расчета структуры и подготовки данных, что позволило использовать их для разных лазерных записывающих систем. Проведены исследования в области гауссово-подобных лазерных пучков и лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур, которые в перспективе могут позволить увеличить разрешение и скорость лазерной записи.

В результате выполнения проекта получены следующие результаты:

Разработка прецизионных безмасковых методов синтеза конформальных элементов и микролинзовых растров

Разработан и оптимизирован метод безмасковой фотолитографии для синтеза конформальных элементов и дифракционных матриц для производства интраокулярных линз методом фронтальной полимеризации. Разработан метод характеристики дифракционных матриц, решающий проблему измерения распределения энергии по фокусам для нулевого и первого дифракционных порядков [1]. Предложено временно планаризовать микрорельеф дифракционной матрицы с помощью фоторезиста, специально высушенного для получения определенной разницы в показателе преломления с исходным материалом матрицы – плавленым кварцем. Такой подход позволяет получить условия для фокусировки света дифракционной структурой, близкие к тем, в которых бифокальная интраокулярная линза работает в глазу пациента. Исследовано влияние условий обработки фоторезиста на его показатель преломления. Применимость предложенного метода была экспериментально продемонстрирована.

Исследование режимов синтеза высокоупорядоченных лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур на пленках металлов и сплавов

Для ТЛИППС, сформированных на тонкой плёнке Hf , получены зависимости относительной площади дефектов и упорядоченности структур, а также производительности записи, в зависимости от скорости сканирования, мощности астигматически сфокусированного гауссова записывающего пучка и давления воздуха (от 4 Торр до 760 Торр) [2]. Данные результаты

показывают, что понижение давления воздушной среды приводит к увеличению дефектности и ухудшению упорядоченности формируемых структур.

Разработка методов генерации и исследование новых видов бесселе- и гауссово-подобных лазерных пучков с высокой пространственной локализацией

Разработан метод генерации новых видов бесселе- и гауссово-подобных лазерных пучков с высокой пространственной локализацией в окрестности их шейки [3]. Исследована оптическая схема генерации пучка в виде изображающей оптической системы с модулирующей амплитудно-фазовой маской в виде регулярного раstra типа квадратных сот. Определены требования к оптической плотности такой маски (порядка 4D) и к допустимым искажениям расчетной ширины ее квадратных сот (порядка ± 0.4 мкм).

Оптимизация режимов записи многоуровневых высокоапертурных ДОО на фоторезисте с представлением данных в графическом формате

Модернизирован программный пакет для проектирования и генерации ДОО для оптимизированной записи на фоторезисте многоуровневых ДОО с представлением графических данных в формате DXF. Работа пакета программ апробирована при записи на установке безмасковой фотолитографии DWL66+ дифракционных матриц, предназначенных для производства бифокальных интраокулярных линз [4].

Разработка универсальной модульной архитектуры для лазерных записывающих систем (ЛЗС) сканирующего типа. Разработка платформы независимого базового программного обеспечения для универсальной архитектуры ЛЗС

Разработана универсальная модульная архитектура для управления модулями ЛЗС, позволяющая отправлять и получать данные от модулей и осуществлять мониторинг их работы [5, 6]. В рамках работы была реализована серверная часть программного обеспечения, работающая на операционных системах GNU/Linux. Программное обеспечение реализовано на языках C++ и Python. Создан графический WEB-интерфейс для управления системой.

Разработка метода прямой лазерной записи фотошаблонов с высокой оптической плотностью на сверхтолстых (>150 нм) пленках хрома

Для задач, связанных с созданием высококонтрастных шкал и масок с оптической плотностью 5-6D проведено исследование прямой лазерной записи (ПЛЗ) на пленках хрома толщиной 300 нм (рис. 2.16). Показано, что для данной пленки максимальная высота хромового рельефа после проявления не превышает 150 нм, что недостаточно для достижения необходимого контраста [7, 8].

Результаты выполнения проекта расширяют область применения конформальной оптики и микролинзовых растров в фотонике и приборостроении. Они могут послужить основой для выполнения заказных НИОКР. Дальнейшие исследования в области дифракционной, конформальной и микролинзовой оптики крайне важны для отечественной оптической, космической и военной промышленности. Полученные результаты позволят вести дальнейшие исследования в области повышения точности изготовления, удешевления технологии производства, разработки новых материалов и принципиально новых оптических элементов, на основе которых могут быть построены современные лазерные комплексы, сенсоры и датчики контроля.

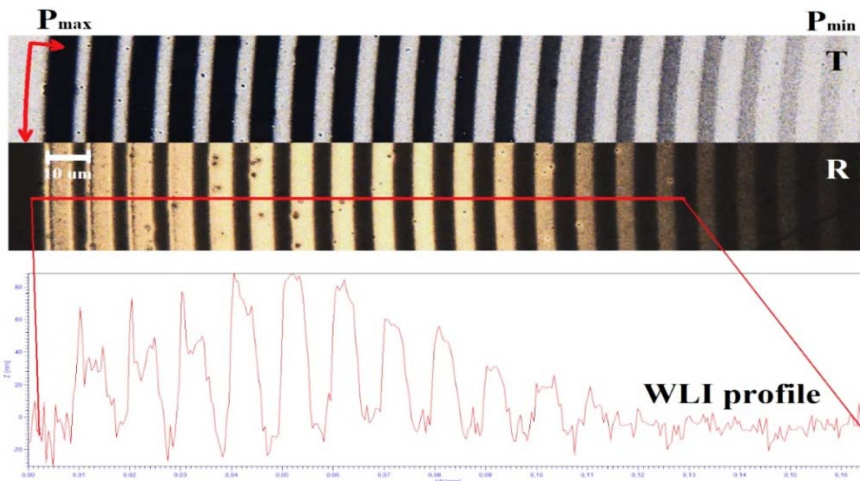


Рис. 2.16. Микрофотографии на пропускание (Т), отражение (R) и сечение WLI профилограммы

Публикации:

1. Korolkov V.P., Konoshenko P.E., Mikerin S.L., Belousov D.A., Malychev A.I., Golubtsov S.K. Development of method for measuring a light energy distribution over foci mould of diffractive component of bifocal intraocular lens // *Proceedings of SPIE*. – 2021. – Vol. 11873: Optical fabrication, testing, and metrology VII. – P. 118730G. – DOI 10.1117/12.2597112.
2. Belousov D.A., Bronnikov K.A., Okotrub K.A., Mikerin S.L., Korolkov V.P., Terentyev V.S., Dostovalov A.V. Thermochemical laser-induced periodic surface structures formation by femtosecond laser on Hf thin films in air and vacuum // *Materials*. – 2021. – Vol. 14, is. 21. – Paper. 6714. – P. 1–16. – DOI 10.3390/ma14216714.
3. Новоселов А.Р., Алдохин П.А., Добровольский П.П., Маточкин А.Е. Исследование разрушения гибридных фотоприемников инфракрасного диапазона при многократных циклах охлаждения до температуры жидкого азота интерференционным методом // *Оптический журнал*. – 2021. – Т. 88, вып. 1. – С. 69–75. – DOI 10.17586/1023-5086-2021-88-01-69-75.
4. Semenov A.P., Abdulkadyrov M.A., Dobrikov N.S., Ignatov A.N., Patrikeev V.E., Pridnya V.V., Polyanchikov A.V., Nasyrov R.K. Methods used for testing of large-size mirrors surface figure and on and off-axis surfaces optical parameters at the stage of figuring // *Proc.*

- SPIE 11451, Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation IV, 114513E (13 December 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2561082>.
5. Victor P. Korolkov, Ruslan K. Nasyrov, Vladimir N. Khomutov, Dmitry A. Belousov, and Roman I. Kutz "Development of methods for the formation and control of a given distribution of the photoresist thickness for conformal correctors fabrication", Proc. SPIE 11895, Optical Design and Testing XI, 118951J (9 October 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2604808>
 6. Khomutov V.N., Shimansky R.V., Nasyrov R.K., Korolkov V.P. Principles of operation and prospects for the development of laser lithographic systems for the synthesis of optical elements // Proc. SPIE 11875, Computational Optics. – 2021 (14 September 2021). – P. 118750O (<https://doi.org/10.1117/12.2597050>).
 7. Shimansky R.V., Korolkov V.P., Belousov D.A., Kuts R.I. Diffraction method for estimation of positioning errors that occurred during the writing of computer-generated holograms // Proc. SPIE 11895, Optical Design and Testing XI (9 October 2021). – P. 118951B (7 p.) (<https://doi.org/10.1117/12.2604292>).
 8. Шиманский Р.В., Хомутов В.Н., Насыров Р.К., Корольков В.П., Седухин А.Г. Структура, принцип работы и перспективы развития литографических систем для синтеза планарных оптических элементов // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 68–79.

ПРОЕКТ: Параметрическое автоматизированное управление потоками данных в режиме реального времени с применением специализированных процессорных архитектур.

№ гос. рег. 121041800012-8

Исполнители проекта:

Лаборатория программных систем машинной графики

Тематическая группа магистрально-модульных систем

Лаборатория синтезирующих систем визуализации

Научный руководитель д.ф.-м.н. Лаврентьев М.М.

Исследование и разработка подходов к решению задач высокоточной локализации объекта с использованием камер машинного зрения и маркеров.

Задача определения положения и ориентации объекта почти всегда возникает в реализации системы виртуальной и смешанной реальности. Чаще всего необходимо определять положение головы пользователя и/или контроллеров, используемых для управления виртуальными объектами. В компьютерных тренажерах, в частности космических, позиционирование головы оператора важно для правильной параметризации пирамиды видимости, вершина которой должна соответствовать голове наблюдателя. Не менее важно и позиционирование инструментов в руках оператора, для их правильного отображения в виртуальном мире. Разработан базовый алгоритм, определяющий положение четырехугольного маркера по изображению с камеры машинного зрения. Простота маркера была продиктована

удобством отладки алгоритма и интерпретации результатов. Для экспериментов была использована монохромная камера, в результате которых подтверждена применимость разработанного алгоритма в задачах определения положения головы или инструментов в руках оператора для космических тренажеров, где рабочая область тестовой системы сопоставима с пространством, ограничивающим движения космонавта. Разработан и протестирован на реальных данных алгоритм локализации объекта с использованием камер машинного зрения по визуальному маркеру, а также алгоритм калибровки камеры с использованием рациональных квадрик в качестве модели искажений.

Разработка программно-аппаратных средств для быстрого (в пределах минуты) расчета распространения волны цунами от источника до выбранного участка береговой линии

Продолжено тестирование предложенного ранее спецвычислителя на базе вентиляционной матрицы, программируемой пользователем (Field Programmable Gate Array – FPGA) [1, 2]. Для обеспечения возможности проведения расчетов параметров волны практически до береговой линии метод сгущающихся сеток был адаптирован для применения разработанного ранее спецвычислителя на базе FPGA для численного моделирования распространения цунами от глубоководного участка океана до береговой линии. Расчеты профиля волны от модельного источника были проведены на реальном профиле глубин у побережья Японии [3, 4]. Полученные результаты позволяют говорить о перспективности разрабатываемой технологии для оперативного (в пределах нескольких минут после сейсмического события) прогноза опасности волны цунами на заданном участке береговой линии.

Разработка требований к макету системы с усовершенствованным комплексом средств информационной безопасности, взаимодействующим с основными средствами системы управления

Определены требования к макету доверенной детерминированной системы контроля и управления реального времени с виртуальными контроллерами, на котором будут исследованы возможности применения встроенных в систему средств информационной безопасности, используемых совместно с усовершенствованным комплексом дополнительных средств информационной безопасности.

Возможности применения традиционных подходов к обеспечению информационной безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры всё еще изучены недостаточно. Необходимо продолжать исследования существующих и поиск новых подходов к обеспечению информационной безопасности с целью создания доверенных, надежно защищенных систем управления реального времени.

Разработаны требования к макету усовершенствованной доверенной детерминированной системы контроля и управления реального времени

с виртуальными контроллерами (СКУ ВК), снабженной встроенными и дополнительными средствами информационной безопасности (рис. 2.17), на котором будут исследованы возможности применения встроенных в систему средств информационной безопасности (СИБВ), реализованных на верхнем уровне системы (СИБВ ВУ) и на нижнем уровне (СИБВ НУ). Реализация макета позволит выполнить исследования, в результате которых может быть существенно повышен общий уровень информационной безопасности систем управления.

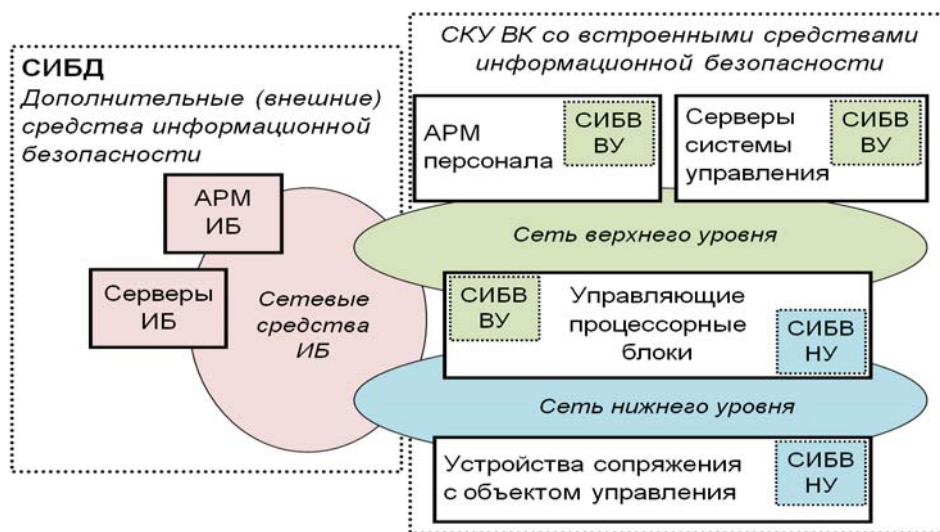


Рис. 2.17. Организация доверенной системы управления реального времени с виртуальными контроллерами (СКУ ВК), встроенными (СИБВ) и дополнительными (СИБД) средствами информационной безопасности

Разработка метода и алгоритмов гибридного рендеринга для отображения 3D-сцен в обучающих и тренажерных системах. Исследование и разработка архитектуры, алгоритмов, функциональных модулей системы управления, обработки, регистрации и отображения потоковых мультимедийных данных в реальном масштабе времени для тренажерно-обучающего комплекса пилотируемого космического аппарата (ПКА) нового поколения. Разработка метода и алгоритмов визуализации в реальном масштабе времени трехмерных моделей объектов со сложной геометрией на основе мультиобъемных данных и функционально заданных поверхностей

В системах отображения для обучающих и тренажерных задач существует противоречие между требованиями интерактивности (малые задержки в мультимедийных каналах) и необходимым качеством отображаемой аудиовизуальной информации (отсутствие пропуска кадров, точная синхронизация мультимедийных данных, детальность и реалистичность визуализации). Для разрешения указанных противоречий предлагается метод

гибридного рендеринга, обеспечивающий одновременно приоритетную работу с интерактивностью при отображении данных непосредственно обучаемым и/или инструктором в реальном времени с минимальными задержками и приоритетную работу с высоким качеством выходных мультимедийных потоков для отображения с пониженными требованиями к интерактивности (контрольные мониторы и т. д.). Разработаны алгоритмы буферизации и доступа к мультимедийным данным: одновременно для работы с гарантированными программируемыми задержками и высоким качеством просчёта изображения и для обработки данных без пропуска кадров и значимых потерь синхронизации. Моделирование гибридного рендеринга показало его эффективность, что актуально для обучающих и тренажерных систем нового поколения с расширенными информационными и управляющими потоками данных.

Исследования существующих решений по регистрации и отображению потоковых мультимедийных данных в реальном масштабе времени для тренажёрно-обучающих комплексов [5, 6] показало существенные трудности в использовании высокоэффективных алгоритмов сжатия с целью снижения как потоковой нагрузки на системы отображения, так и общих объёмов хранения мультимедийных данных. Связано это с противоречащим требованием быстрого и произвольного доступа как к записанным ранее, так и записываемым в процессе тренировки мультимедийным данным. Для обеспечения произвольного и быстрого позиционирования и воспроизведения потоковых многоканальных данных непосредственно в процессе их записи разработана распределённая архитектура и алгоритмы работы с компрессированными данными с использованием высокоэффективных аппаратных кодеров. Моделирование архитектуры и алгоритмов показало работоспособность предложенных решений для реализации в тренажёрно-обучающем комплексе нового поколения для ПКА. Предложенные решения загрузки сетевых каналов передачи данных будут и актуальны при реализации концепции интегрированных тренажерных комплексов, объединённых единой системой передачи, регистрации и отображения распределённых данных тренировочного процесса.

Разработаны метод и алгоритмы для визуализации в реальном масштабе времени тематических композиций трехмерных объектов со сложной геометрией на основе функционально заданных поверхностей и мультиобъемных данных с разной пространственной ориентацией и разрешением (например, томографические данные МРТ, КТ и др.). Для описания поверхностей используются функции отклонения второго порядка от базовой квадратики. Объемные данные хранятся в виде 3D-текстуры. Сформированная таким образом геометрическая модель применяется для конструирования объектов и их композиций различной сложности с использованием множества геометрических операций.

Предлагаемый метод позволяет отображать в реальном масштабе времени тематически связанные композиции функционально заданных поверхностей и наборов объемных данных со сложной геометрией пересечений, используя параллельные вычислительные ресурсы графического процессора CUDA [7–11].

Метод актуален для медицинских приложений. Использование функционально заданных поверхностей позволяет сократить базу данных для 3D-моделей медицинского инструментария, имплантатов и уменьшить время рендеринга в системах виртуальной ортопедической хирургии. Метод является простым в реализации и может применяться для многих задач, использующих объемный рендеринг.

Публикации:

1. Lavrentiev M.M., Marchuk An.G. Fast Modelling of Tsunami Wave Propagation at PC by Hardware Computer Code Acceleration // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. – 2021. – Vol. 14, is. 4. – P. 433–444. – DOI 10.17516/1997-1397-2021-14-4-433-444.
2. Лаврентьев М.М., Лысаков К.Ф., Марчук А.Г., Облаухов К.К. Ускорение расчетов распространения волны цунами с использованием FPGA // Успехи кибернетики. – 2021. – Т. 2, № 1. – С. 14–25. – DOI: 10.51790/2712-9942-2021-2-1-2.
3. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk An.G., Oblaukhov K.K., Shadrin M.Yu. FPGA based tsunami wave propagation calculator // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1789: The 9th International Conference on Engineering Mathematics and Physics, 1–4 July, 2020, Istanbul, Turkey. – P. 012011. – DOI 10.1088/1742-6596/1789/1/012011.
4. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk A., Oblaukhov K.K., Shadrin M.Yu. Algorithmic design of an FPGA-based calculator for fast evaluation of tsunami wave danger // Algorithms. – 2021. – Vol. 14, is. 12. – P. 343 (13 p.). – DOI 10.3390/a14120343.
5. Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Брагин В.И. Модернизация системы обработки и отображения визуальной информации для эффективного контроля и управления тренировочным процессом в условиях расширенного информационного потока // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 3. – С. 61–65. – DOI 10.34131/MSF.21.3.61-65.
6. Долговесов Б.С., Шадрин М.Ю., Брагин В.И. Модернизация системы обработки и отображения визуальной информации «Мозаика» комплекса тренажеров Российского сегмента Международной космической станции // Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина». Звездный городок, Московская обл., Россия, 17–19 ноября 2021). – С. 153.
7. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод визуализации мультиобъемных данных и функционально заданных поверхностей с применением графических процессоров // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 32–40. – DOI 10.15372/AUT20210204.
8. Chekhmestruk R.Y., Mykhaylov P.I., Vyatkin S.I. Method for calculating the reflection function of global illumination with perturbation functions // Herald of Advanced Information Technology. – 2021. – Vol. 4, № 1. – P. 47–56. – DOI 10.15276/hait.01.2021.4.
9. In the book “BioArt Book: Teaching and subjects on bio-medical engineering, Approaches and experiences from the BIOART-project” (Leuven, Belgium. 2021): Vyatkin S., Romanyuk O., Bezsmertnyi Yu. et al. Modeling and simulation of prosthetic gait using a 3D model based on perturbation functions. – P. 477–506. ISBN: 978-94-641-4245-7.

10. In the books “Current Trends in Communication and Information Technologies. IPF 2020” / ed. by Vorobiyenko P. et al.: Lecture Notes in Networks and Systems». – Springer. – 2021. – Vol. 212.
Vyatkin S.I., Romanyuk O.N., Chekhmestruk R.Y. et al. Comparison of Volume Rendering Methods Using GPU and Specialized Volumetric Accelerator. – P. 359–378. – https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_19.
11. Vyatkin S., Romanyuk O., Pavlov S. et al. Manipulating function-based objects with interactive collision risk models // Proceedings of the 1st International Workshop «Computational and Information Technologies for Risk-Informed Systems» (Kherson, Ukraine, October 15–16, 2020) – 2020. - V. 2805. – P. 324–334.

ПРОЕКТ: Разработка методов управления движением автономных динамических объектов в условиях неопределенности и наличия возмущений. Разработка технологии моделирования движения летательных аппаратов.

№ гос. рег. 121042900050-6

Исполнители проекта:

Лаборатория нечётких технологий

Лаборатория интегрированных информационных систем управления

Научный руководитель **к.т.н. Котов К.Ю.**

Управление беспилотными летательными аппаратами

Представлен программно-аппаратный комплекс для проведения летных экспериментов, обеспечивающий работу в трех режимах: стенд полунатурного моделирования, комплекс подготовки экипажа летательного аппарата и наземный пункт управления (рис. 2.18).

Мобильный программно-моделирующий комплекс предназначен для наземной отладки алгоритмов управления, экспериментальной отработки элементов бортового радиоэлектронного оборудования, а также выполнения испытательных полетов модели в ручном и автоматическом режиме. Программно-аппаратный комплекс использовался при проведении нескольких этапов летных испытаний ряда ЛА. Возможность проведения экспресс-анализа и оперативного корректирования и тестирования алгоритмов позволило существенно сократить время экспериментов [1–2].

Траекторное и групповое управление автономными роботами

Для управления группой подвижных автономных объектов разработан программно-аппаратный комплекс, включающий математические законы формирования управляющих команд, которые обеспечивают движение по заданным траекториям, поддержание требуемого расположения объектов в группе и перестроение группы, методы обхода препятствий, оценивания и компенсации погрешности алгоритмов определения местоположения при автономном движении в заранее неизвестном окружении [3–5].

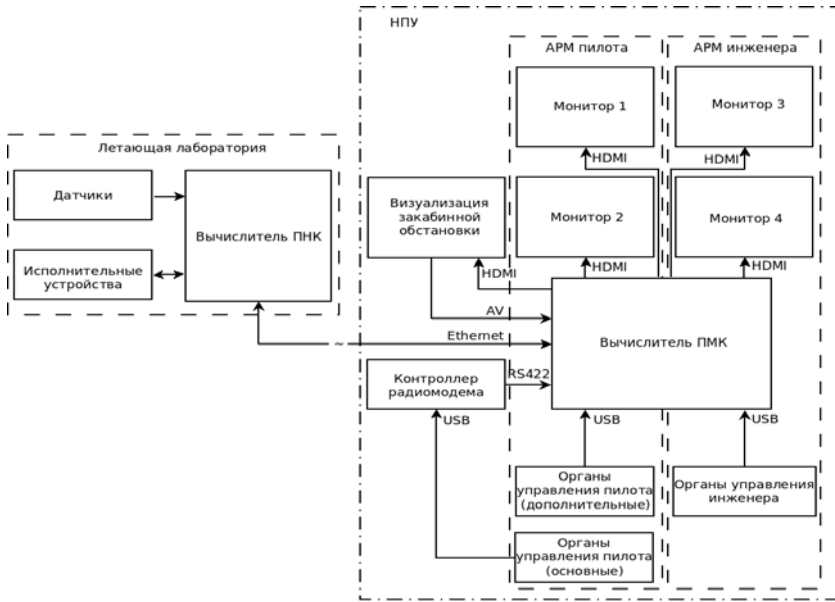


Рис. 2.18. Комплекс полунатурного моделирования

Представлена архитектура программного обеспечения стендового комплекса, предназначенного для разработки, моделирования и экспериментальных исследований систем управления беспилотными аппаратами колесного, гусеничного и мультироторного типа (рис. 2.19).

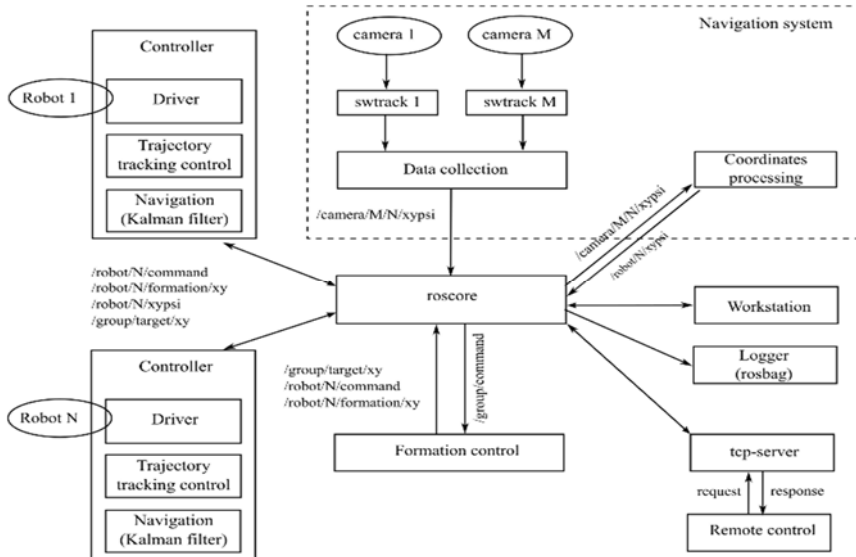


Рис. 2.19. Структурная схема программного обеспечения комплекса

Рассмотрен прототип беспилотного аппарата колесного типа, созданный для обучения и проведения стендовых испытаний по управлению движением роботов в составе группы (рис. 2.20).



Рис. 2.20. Внешний вид прототипа мобильного колесного робота

Развитие программно-аппаратных средств повышения функциональных возможностей перспективного измерительно-диагностического и технологического оборудования для контроля и синтеза элементов и устройств фотоники

Для круговой измерительно-диагностической установки модели АЭ.1686 реализована подсистема префокусировки микрообъектива считывающей головки. Использование подсистемы позволяет повысить точность и воспроизводимость результатов измерений при наличии таких неидеальностей как неплоскостность рабочей поверхности стеклянных носителей УИС. Применение в качестве исполнительного элемента системы префокусировки линейного столика модели Nano-OP65M позволяет за счет компенсации дестабилизирующего влияния неплоскостности рабочей поверхности стеклянного носителя УИС (вплоть до ± 35 мкм) осуществлять измерение погрешности изготовления топологии структур (рис. 2.21) [6–11].

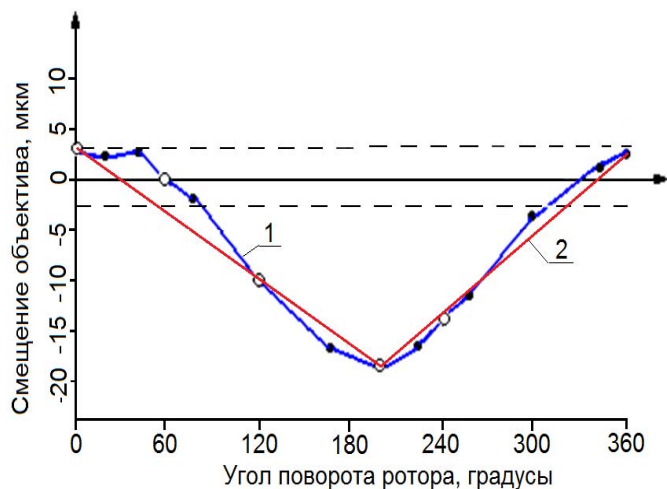


Рис. 2.21. График сигнала управления линейным столиком подсистемы префокусировки: 1 – кривая, пропорциональная сигналу управления подсистемой префокусировки; 2 – вспомогательная кривая для определения неплоскостности рабочей оптической поверхности стеклянной подложки

Разработка методов имитационного компьютерного моделирования перспективного технологического оборудования на базе эмуляции в памяти компьютера

Усовершенствована модель НТТР-фильтра и ее программная реализация. Проведены эксперименты по имитационному моделированию работы НТТР-фильтра на стандартном ПК с Intel Xeon E5-1650 ЦПУ и 16Gb памяти. Модель обеспечила обработку виртуального трафика интенсивностью около 19 Гбит/с [12, 13].

Публикации:

1. Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Ян А.П. Управление вектором скорости летательного аппарата // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 3–9. – DOI 10.15372/AUT20210401.
2. Белоконь С.А., Деришев Д.С., Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С. Мобильный программно-аппаратный комплекс для проведения лётных экспериментов // Там же. – С. 10–16. – DOI 10.15372/AUT20210402.
3. Пришляк Е.Е. Система управления совместными действиями беспилотных аппаратов // МНСК-2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). Информационные технологии. С. 42
4. Пришляк Е.Е. Управление совместным движением колесного робота и беспилотного летательного аппарата // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2021): материалы XIV мультиконференции (Дивноморское, г. Геленджик, 27 сентября – 2 октября 2021): в 4 т. Т. 1. С. 104–106.
5. Kotov K.Yu., Prishlyak E.E., Sobolev M.A., Maltsev A.S. Research complex for unmanned autonomous vehicles control systems // 2021 IEEE 15th International conference of actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) (Novosibirsk, Russia, November 19–21, 2021). P. 422–425.
6. Кирьянов В.П., Бобков А.В., Гурин Н.А., Зотов А.А., Каракоцкий А.Г., Кирьянов А.В. Предварительно программируемая фокусировка микрообъектива углоизмерительной установки // Оптический журнал. – 2021. – Т. 88, № 5. – С. 76–81. – DOI 10.17586/1023-5086-2021-88-05-76-81.
7. Кирьянов А.В., Кирьянов В.П. Применение согласованных комплементарных фильтров в гониометрии // Автометрия. – 2021. – т. 57, № 6. – С. 49–59. – DOI 10.15372/AUT20210605.
8. Лубков А.А., Котов В.Н., Перебейнос С.В., Зотов А.А. Генератор высоковольтных биполярных импульсов // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 5. – С. 57–66. – DOI 10.31857/S0032816221050098.
9. Гурин Н.А. Разработка широкополосного просветляющего покрытия в области 8–12 мкм // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск 19–21 мая, 2021): Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика–2021. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей. – С. 214–219. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-214-219.
10. Алиев В.Ш., Бортников С.Г., Литвинцев В.И., Каракоцкий А.Г. Modeling of VO₂ Relaxation Oscillator in the Fast-Slow System Approximation // IEEE Transactions on Electron Devices (в печати).
11. Устройство для измерения малых разностей температур: пат. 2760923 Рос. Федерация на изобретения. Лубков А.А., Попов Ю.А., опубл. 01.12.2021; Бюл. № 34, 2 с.

12. Будников К.И., Курочкин А.В. Программное моделирование устройства обработки сетевого трафика в информационной системе // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 66–74. – DOI 10.15372/AUT20210308.
13. Сафенрейтер Д.А. Основные принципы разработки программного обеспечения устройства HTTP-фильтрации для промышленного интернета на платформе Linux // МНСК-2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 182.

ПРОЕКТ: Развитие методов и технологий прецизионного гибридного послойного лазерного формообразования.

№ гос. рег. 121051700156-9

Исполнители проекта:

Лаборатория лазерной графики

Тематическая группа лазерной гравиметрии

Научный руководитель к.т.н. Бессмельцев В.П.

Исследование методов нанесения и лазерной термо- и фотомодификации различных жидких и пастообразных материалов зарубежного и отечественного производства на основе ультрадисперсных нанокмпозиций металлов и керамик, предназначенных для аддитивного формообразования

Проведено исследование характеристик тонких слоев проводящих чернил, содержащих 6-нанометровые частицы серебра, синтезированных восстановлением 2-[2-(2-метоксиэтокси)этокси]ацетата серебра бензиловым спиртом [1]. Для сравнительных испытаний слой чернил толщиной 1–3 мкм наносился методом центрифугирования на полимерные полиимидные пленки. Образцы нагревались до температур 150, 200 и 300 °С в течение 30 мин. Морфология полученных образцов после спекания имела неоднородную поверхность с большой долей пустот, имеющих относительно высокое удельное сопротивление 28 мОм·см. Удельное сопротивление пленок, отожженных при 150 °С в течение 30 мин, составляет 5.75×10^{-4} Ом·см. При 200–250 °С сопротивление уменьшается, так как происходит дальнейшее спекание и рекристаллизация отдельных частиц, повышение электропроводности. Значение удельного сопротивления 2.8×10^{-5} Ом·см достигается после спекания при 300 °С. Лазерная обработка образцов производилась на экспериментальной установке гибридного 3D-принтера, разработанного в ИАиЭ СО РАН [2]. Лазерное спекание дало более однородные, без пустот и дефектов, слои с удельным сопротивлением 2.3 мОм·см. Таким образом, показано, что лазерное спекание чернил с серебряными наночастицами является перспективным методом изготовления проводящих 3D-объектов на различных подложках, в том числе на гибких полимерных.

Разработан и исследован новый состав пасты на основе наноразмерного оксида никеля (NiO) для струйной 3D-печати. Найдены оптимальные

параметры анодной пасты с необходимой вязкостью для печати NiO с помощью гибридного 3D-принтера ИАиЭ СО РАН с диспенсерной головкой с соплом 250 мкм. Проведены эксперименты по печати двух- и трехмерных тест-объектов с использованием разработанной керамической пасты, исследованы режимы печати для изготовления объектов заданной формы и размера с лазерным спеканием наплавленных слоев. Лазерное спекание напечатанных образцов обеспечивалось волоконным лазером с длиной волны излучения 1.064 мкм в однопроходном режиме с изменяемой мощностью лазера. Длительность лазерного импульса составляла 4 нс, частота импульсов 250 кГц; средняя мощность изменялась в диапазоне 0.45–2.7 Вт. Проведены эксперименты по подбору оптимальных температурных режимов постобработки напечатанных образцов [3]. На рис. 2.22 представлен снимок тестового образца с записью трехмерных многослойных столбиков диаметром 500 мкм высотой 300 мкм.

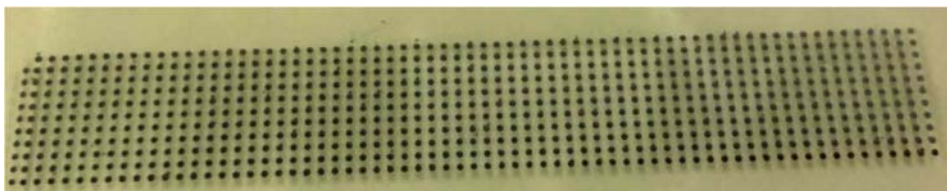


Рис. 2.22. Массив напечатанных никелевых столбиков высотой 300 мкм, диаметром 500 мкм с использованием оптимизированных параметров диспенсеров и лазерной обработки

Разработка моделей, алгоритмов и программных средств управления диспенсерными головками различной конструкции для получения минимально возможного размера формируемых микроструктур на различных подложках

Проведена разработка электронных модулей и программных средств управления диспенсерными головками как для микроклапанного – для пастообразных и жидких чернил с вязкостью 0.5–10000 мПа·с (диспенсер Liquidyn® P-Jet компании Nordson EFD (Германия), размер сопел 50–1000 мкм), так и пьезоэлектрического типа – для жидких чернил с вязкостью менее 20 сПз (MicroFab MJ-AL, размер сопел 20–80 мкм). Созданы аппаратно-программные средства оптического контроля размера и скорости капель, формируемых пьезоэлектрическими головками. Проведены испытания данных диспенсеров в составе Гибридного 3D-принтера ИАиЭ СО РАН в режиме нанесения микрокапель чернилами, разработанными ИХТТМС СО РАН, на различные подложки. Разработаны алгоритмы и создан программный пакет для Гибридного 3D-принтера для записи и послойного лазерного отверждения, оптимизирующие качество записи на различных подложках [2].

Разработка гибридных лазерных технологий изготовления микропористых изделий с заданной формой поверхности, прочностью, теплопроводностью и пористостью, меняющейся по объёму изделия

В последнее время развивается применение аддитивных технологий в задачах создания систем охлаждения как для создания конвективных потоков от поверхности различных изделий, так и при формировании внутренних охлаждающих конструкций. При этом недостатки технологий послойного лазерного сплавления из порошковых материалов – SLM (относительно высокая шероховатость и проблемы минимизации пористости изделий) в применениях для теплообменников часто превращаются в их достоинства, что, как показано в совместных экспериментах с ИТФ СО РАН, при расчетном значении формы поверхности и пористости позволяет существенно увеличить теплоотдачу, особенно при жидкостном охлаждении [4].

Проведены исследования теплообмена, критических тепловых потоков и динамики парообразования при кипении жидкого азота при давлениях 0.1 и 0.018 МПа в условиях стационарного тепловыделения. Испытательные срезы представляли собой гладкую медную пластину и пластину с капиллярно-пористым покрытием из порошка меди с порошинками размером 20–50 мкм, созданным с помощью аддитивной 3D-печати. Покрытие наносилось на исходную рабочую поверхность по аддитивной технологии SLM. Покрытия представляют собой правильные гребни и каналы (синусоидальная зависимость распределения локальной толщины покрытия по поперечной координате). Среднее расстояние между соседними выступами $\lambda = 2010$ мкм (длина волны модуляции структуры), средняя толщина покрытия по высоте гребня $\delta = 480$ мкм, остаточная толщина слоя $h = 70$ мкм равномерного пористого покрытия, ширина канала $l = 1140$ мкм. Пористость $\varepsilon = 30$ % измерялась массовым методом с учетом профиля покрытия. Испытания показали, что наличие такого покрытия приводит к значительному, до 8 раз, усилению теплоотдачи [5].

Проведено исследование структуры и морфологии таблетированных изделий из наноразмерного гидроксиапатита после обработки лучом CO₂-лазера. Показано, что использование компактированного слоя обрабатываемого материала позволяет значительно уменьшить диаметр пятна лазерного излучения. Изучены механохимические и структурные изменения, происходящие при спекании. Обнаружено, что гидроксиапатит остается в виде однофазной структуры апатита с пространственной группой P6₃/m до 1300 °С. Дальнейшее повышение температуры спекания приводит к его частичному разложению, уменьшению размера кристаллитов апатитовой фазы и появлению значительных структурных деформаций. Исследовано влияние скорости сканирования лазерного луча и плотности таблетки гидроксиапатита на структуру и морфологию обработанной поверхности. Показано, что быстрый нагрев гидроксиапатита лазерным излучением (размер лазерного пятна 0.2 мм, мощность 4 Вт, скорость движения примерно 0.1 м/с) позволяет при

определенных условиях обеспечить его конгруэнтное плавление с образованием перекристаллизованного монослоя оксигидроксиапатита. Понижение скорости приводит к переходу в режим спекания. Определены оптимальные значения плотности и толщины спекаемого материала, которые необходимо соблюдать при создании 3D-изделий из гидроксиапатита методом селективного лазерного плавления [6–10].

Исследовались методы оптимизации фемтосекундной микрообработки (микроструктурирование) различных материалов, обеспечивающие заданное (субмикронное) качество обработанных поверхностей, например для формирования микроканалов произвольной формы на подложках из хрупких диэлектрических материалов, таких как оптические стекла, оптические кристаллы, или при изготовлении планарных металло-диэлектрических структур для терагерцовой оптики (рис. 2.23) [11–13].

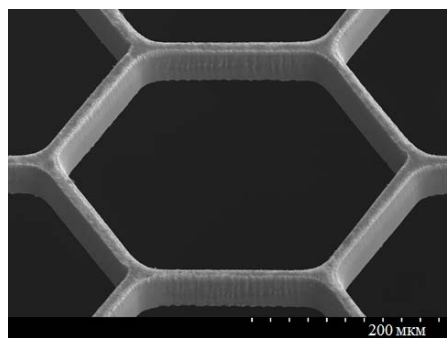


Рис. 2.23. СЭМ-фото (угол наблюдения 45°) фрагмента рентгеношаблона, изготовленного методом лазерной микрообработки металлической фольги толщиной 50 мкм мощным фемтосекундным излучением (средняя мощность более 10 Вт)

Проведение высокоточных гравиметрических измерений в Сибирском и Дальневосточном федеральном округе. Исследование возможности создания элементов конструкции, управляющей микромеханики и электроники абсолютных баллистических лазерных гравиметров методом гибридного послойного лазерного формообразования

Зарегистрированы техногенные эффекты, связанные с эксплуатацией крупных водохранилищ и месторождений полезных ископаемых в Сибири [14]. Мониторинг современных процессов выполнялся методами космической геодезии и абсолютной гравиметрии, что позволило не только получить кинематические характеристики (скорость опускания или подъема, скорость и величину горизонтального смещения поверхности Земли), но и отследить движение флюида в земной коре, а это дает возможность регулировать процесс добычи полезных ископаемых. Проанализированы современные техногенные явления в районе Усть-Балыкского и Заполярного нефтегазовых месторождений Западной Сибири, в зоне водохранилища Саяно-Шушенской гидроэлектростанции (СШГЭС) и шахт Кузбасса. В результате анализа получены скорости движений земной коры в зонах эксплуатации крупных техногенных объектов в отдельные эпохи измерений. Для гидротехнических сооружений они достигают 5 мм/год. В зоне

эксплуатации нефтегазовых месторождений на севере Западной Сибири скорость опускания составила 20–25 мм/год, что подтверждается высокоточными абсолютными измерениями силы тяжести, показывающими увеличение значения на 6–7 мкГал/год.

Высокоточные гравиметрические измерения на наноуровне (при ошибке измерений $g_0 \cdot 10^{-9}$) требуют учета изменений плотности, вызванных деформацией и движением земной коры, и положением флюида в слое. Проведен анализ результатов наблюдений за уровнем воды в трех скважинах, расположенных в Приморье, на Камчатке и в Байкальском регионе [15]. Вариации уровня в основном связаны с приливным воздействием, вариациями атмосферного давления, сейсмическими эффектами и сезонным влиянием осадков. С использованием приливного анализа данных получены коэффициенты связи вариаций уровня и объемной деформации от 0.1×10^{-9} до 1.6×10^{-9} мм. Проведена оценка вклада вариаций объемной деформации в результате гравиметрических мониторинговых наблюдений. Анализ многолетней серии гравиметрических измерений, полученной на сейсмостанции Талая в горной долине Прибайкалья, показал, что для гравиметрических пунктов, расположенных на монолитных горных породах, вклад вариаций уровня вод значительно меньше ошибки абсолютных гравиметрических наблюдений.

Получены результаты измерений вариации силы тяжести и смещений в районе Заполярного и Ямбургского нефтегазоконденсатных месторождений, расположенных в заполярной части Западно-Сибирской равнины в субарктической зоне Ямало-Ненецкого автономного округа [16]. Разработка месторождений и строительство многочисленных трубопроводов требует контроля движений земной поверхности. По результатам абсолютных гравиметрических измерений проанализированы современные движения в области Заполярного месторождения на севере Западной Сибири. Скорость опускания составила 21–23 мм/год, что соответствует результатам высокоточных абсолютных измерений силы тяжести, показывающим увеличение значения до 7 мкГал/год. В данном случае изменения значения силы тяжести полностью объясняются опусканием земной поверхности при нормальном вертикальном градиенте. Результаты измерения смещений в районе Ямбургского месторождения газа, газового конденсата и нефти соответствуют значениям, полученным на Заполярном месторождении, и скорость опускания составила 16–21 мм/год [17].

Проведено предварительное проектирование элементов конструкции абсолютных баллистических лазерных гравиметров методом гибридного послыонного лазерного формообразования.

Публикации:

1. Titkov A.I., Malbakhova I.A., Borisenko T.A., Vorobyev A.M., Logutenko O.A., Baev S.G., Bessmeltsev V.P. Features of the formation of conductive films during thermal and laser sintering of silver nanoparticles stabilized by an ethoxylated carboxylic acid // MATEC Web of

- Conferences. – 2021. – Vol. 340: VII International Russian-Kazakhstan conference "Chemical technologies of functional materials" (PKFM 2021). – P. 01043 (15 p.). – DOI 10.1051/matec-conf/202134001043.
2. Бессмельцев В.П., Голошевский Н.В., Катасонов Д.Н. Гибридный 3D-принтер для послойного формирования структур с проводящей топологией // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021). Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика–2021. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей. – С. 40–46. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-40-46.
 3. Bagishev A., Titkov A.I., Vorobyev A.M., Borisenko T.A., Bessmeltsev V.P., Katasonov D.N., Nemudry A. Development of composite electrode materials based on nickel oxide for additive manufacturing of fuel cells // MATEC Web of Conferences. – 2021. – Vol. 340: VII International Russian-Kazakhstan conference "Chemical technologies of functional materials" (RKFM 2021) (Novosibirsk, Russia, April 28–30, 2021). – P. 01054. – DOI 10.1051/matecconf/202134001054.
 4. Zhukov V.I., Bessmeltsev V.P., Pavlenko A.N. Study of heat transfer during evaporation/boiling in a thin layer on a horizontal surface with a capillary-porous coatings // 6th International Workshop on Heat/Mass Transfer Advances for Energy Conservation and Pollution Control (Harbin, China August 13–16, 2021) (<http://iwht2021.hrbeu.edu.cn>).
 5. Pavlenko A.N., Kuznetsov D.V., Bessmeltsev V. P. Experimental study on heat transfer and critical heat flux during pool boiling of nitrogen on 3D printed structured copper capillary-porous coatings // Journal of engineering thermophysics. – 2021. – Vol. 30. – P. 341–349. – DOI 10.1134/S1810232821030012.
 6. Bulina N.V., Titkov A.I., Isaev D.D., Makarova S.V., Baev S.G., Vorobyev A.M., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Selective laser melting of Zn–Si-substituted hydroxyapatite // Russian Chemical Bulletin, International Edition. – Vol. 70, № 9. – P. 1682–1689.
 7. Bulina N.V., Makarova S.V., Baev S.G., Matvienko A.A., Gerasimov K.B., Logutenko O.A., Bystrov V.S. A study of thermal stability of hydroxyapatite // Minerals. – 2021. – Vol. 11, is. 12. – P. 1310 (15 p.). – DOI 10.3390/min11121310.
 8. Bulina N.V., Baev S.G., Makarova S.V., Vorobyev A.M., Titkov A.I., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Selective Laser Melting of Hydroxyapatite: Perspectives for 3D Printing of Bi-resorbable Ceramic Implants // Materials. – 2021. – Vol. 14, is. 18. – P. 5425. – DOI 10.3390/ma14185425.
 9. Bulina N.V., Baev S.G., Makarova S.V., Titkov A.I., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Laser Processing of Compacted Hydroxyapatite Samples // Chemistry for Sustainable Development. – 2020. – Vol. 28, is. 1. – P. 1–7. – DOI: 10.15372/CSD202019.
 10. Bulina N.V., Titkov A.I., Baev S.G., Makarova S.V., Khusnutdinov R., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Laser sintering of hydroxyapatite for potential fabrication of bioceramic scaffolds // Materials today: proceedings. – 2021. – Vol. 37, part 4. – P. 4022–4026. – DOI 10.1016/j.matpr.2020.06.199.
 11. Bessmeltsev V.P., Katasonov D.N., Goloshevsky N.V., Baev S.G. Method of Forming Microchannels On the Surface Of a Glass Substrate // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1031. – P. 141–146. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.1031.141.
 12. Baev S., Bessmeltsev V., Goloshevsky N., Katasonov D. Method of crack-free laser writing of microchannels on glass substrates // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019 – Vol. 537. – P. 022059.
 13. Кузнецов С.А., Гельфанд А.В., Лазорский П.А., Федоринин В.Н., Аржанников А.В., Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Рыбак А.А., Генцелев А.Н., Бессмельцев В.П. Высокоэффективные квазиоптические частотные фильтры ТГц диапазона на основе частотно-избирательных поверхностей // Фотоника–2021: Российская конференция и школа моло-

- дых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) (г. Новосибирск, Россия, 4–8 октября, 2021): тезисы докладов. – С. 48. – DOI 10.34077/RCSP2021-48.
14. Kalish E.N., Stus Yu.F., Nosov D.A., Sizikov I.S. Absolute Gravimetric and Satellite Geodetic Measurements of Recent Motions at Gas and Oil Deposits in Transpolar Western Siberia // Seismic instruments. – 2021. – Vol. 57. – P. 572–576.
 15. Timofeev V.Yu., Ardyukov D.G., Timofeev A.V., Boyko E.V., Valitov M.G., Kalish E.N., Stus Yu.F., Nosov D.A., Sizikov I.S. Some Features Of Current Technogenic Movements Of The Earth's Crust // Geodynamics & Tectonophysics. – 2021. – 12(3S). – P. 776–791. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-3s-0554>.
 16. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Горнов П.Ю., Стусь Ю.Ф., Семибаламут В.М. Вариации объемной деформации и уровня воды в скважинах, их влияния на результаты гравиметрических измерений // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 40–51. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-40-51.
 17. Сизиков И.С., Тимофеев А.В., Ардюков Д.Г., Носов Д.А. Результаты измерений силы тяжести и смещений в районе Заполярного и Ямбургского нефтегазовых месторождений // Материалы всероссийской молодежной научной конференции «Трофимукские чтения – 2021» (г. Новосибирск, Россия, 11–16 октября 2021). С. 71–75. DOI 10.25205/978-5-4437-1251-2-71-75.

ПРОЕКТ: Разработка нанозлектромеханических структур на основе сегнетоэлектрических пленок.

№ гос. рег. 121052500063-9

Исполнители проекта:

Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур

Научный руководитель к.ф.-м.н. Соколов А.А.

Разработка многослойных тонкопленочных структур на основе создаваемых в ИАиЭ СО РАН нанометровых зазоров, способных обеспечивать колебания поверхностей, в том числе отражающих, с гигагерцовыми частотами. Определение предельных параметров нанозлектромеханических преобразователей энергии

Предложен быстродействующий неохлаждаемый приемник ИК-излучения на основе тонких пленок ниобата бария-стронция. Физическим явлением, лежащим в основе работы устройства, является пирозлектрический эффект в тонких сегнетоэлектрических пленках, а быстродействие обеспечивается отсутствием теплоизоляции между элементом и подложкой и определяется временем распространения тепловой волны в структуре.

В рамках работы были синтезированы пленки SBN и исследованы их пирозлектрические свойства в зависимости от температуры подложки при росте, толщины получаемой пленки и от температуры окружающей среды при напылении (рис. 2.24) [1–3]. Проведено математическое моделирование для определения режимов функционирования элемента [4]. Полученные экспериментальные прототипы показали возможность создания как элемен-

тов неохлаждаемых тепловизионных матриц, в пределах способных достигать чувствительность современных болометрических приемников, так и быстродействующих приемников, работающих в наносекундном диапазоне [5].

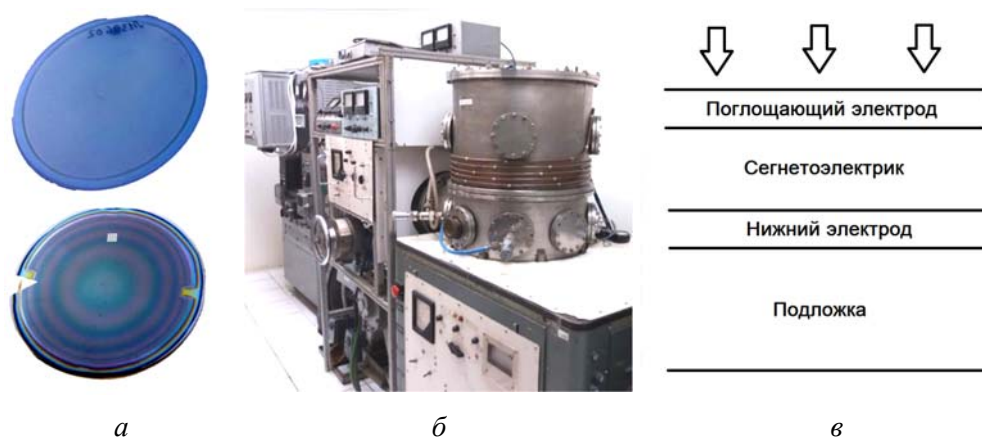


Рис. 2.24. Образцы на кремниевой и сапфировой подложке (а); технологическая установка для гетероэпитаксиального плазмохимического синтеза тонких пьезоэлектрических пленок (б); структура чувствительного элемента (в)

Совместно с Институтом физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН разработана концепция пировидикона, представляющего собой пиррикон со сплошной мишенью из пьезоэлектрика $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$, интегрированной в вакуумный фотодиод с мультищелочным фотокатодом. Предложен пьезоэлектрический электронно-оптический преобразователь с пиромишенью на основе пленки SBN со сквозными отверстиями для прохождения электронного потока, который модулируется в соответствии с распределением потенциала на поверхности мишени, возникающим при проецировании на мишень теплового излучения [6, 7]. Исследованы пьезоэлектрические и оптические свойства сегнетоэлектрических пленок в этих структурах [1–3].

Теоретически исследованы нелинейные высокочастотные колебания поверхностей в МЭМС-устройствах [4]. Установлены условия возникновения устойчивых колебаний и неустойчивого поведения нелинейной системы с упругим электродом, возникновение нелинейной восстанавливающей силы в системе, описываемой уравнением, учитывающем сильные механические напряжения-деформации при электростатическом притяжении. Аналитическое решение позволило проанализировать поведение такой системы. Численное моделирование подтвердило правильность выбора приближения для аналитического решения.

Определены предельные параметры нанoeлектромеханических преобразователей энергии (ПЭ). Получены оценки предельной мощности ем-

костных электростатических двигателей и МЭМС-генераторов – преобразователей механической энергии в электрическую – на основе нанозоров и тонких пленок сегнетоэлектриков [8], и предложено устройство генератора на основе таких структур [9]. Принцип электромеханического преобразования энергии основан на применении тонкой пленки сегнетоэлектрика в структурах «металл – тонкая пленка сегнетоэлектрика – нанозор – подвижная пленка металла» (МСЗМ) (рис. 2.25). При прижатии подвижного электрода к поверхности диэлектрика образуется нанозор. Ширина нанозора, определяемая из измерений емкости структуры, находится в пределах 5–50 нм и ограничена шероховатостью поверхности диэлектрика. Показано, как теоретически, так и экспериментально, что при использовании в указанных структурах тонкого сегнетоэлектрика с величиной диэлектрической проницаемости ϵ , превышающей 1000–5000, практически всё напряжение, подаваемое на МСЗМ-структуру, прикладывается к нанометровому зазору.

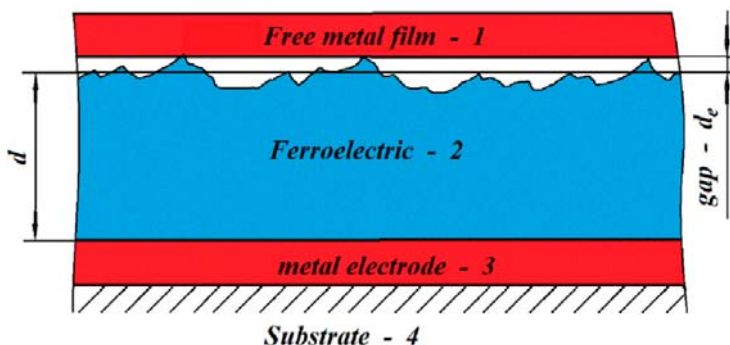


Рис. 2.25. Схематическое изображение структуры МСЗМ: нанозор величиной d_e , подвижная пленка металла (1), тонкая пленка сегнетоэлектрика (2), металл (3), подложка (4)

С учетом минимальной величины зазора между поверхностями сегнетоэлектрика и подвижного электрода было определено максимальное значение поля, которое можно достичь в зазоре $E_{cr}=6 \cdot 10^{10}$ В/м и, соответственно, значение максимальной плотности энергии в рабочем зазоре $W_{V,max} = 1.6 \cdot 10^9$ Дж/м³. Эта величина значительно превышает плотность энергии, достигаемую в мощных электромагнитных двигателях, до 10^5 раз.

Удельная мощность емкостных электростатических двигателей и МЭМС генераторов для частоты $f \approx 10$ МГц и $P_m = 5 \cdot 10^8$ Вт/кг. Такая величина удельной мощности превышает аналогичную характеристику индуктивных двигателей более чем на 5 порядков.

Публикации:

1. Вьюхин В.Н. Измеритель малых токов с автономным питанием // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 4. – С. 152–153. – DOI: 10.31857/S0032816221040273.

2. Соколов А.А. Анализ качества пленок SBN на оксиде индия-олова // XXII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС–XXII) (г. Екатеринбург, Россия, 25–28 августа 2021). Сборник тезисов. – 2021. – С. 256.
3. Уткин Д. Е., Царёв А.В., Уткин Е.Н., Латышев А.В., Шкляев А.А. Широкополосные просветляющие покрытия из частиц SiGe субволнового размера // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 5. – С. 58–69. – DOI 10.15372/AUT20210507.
4. Skrzypacz P., Wei D., Nurakhmetov D., Kostsov E.G., Sokolov A.A., Begzhigitov M., Ellis G. Analysis of dynamic pull-in voltage and response time for a micro-electro-mechanical oscillator made of power-law materials // Nonlinear Dynamics. – 2021. – Vol. 105, is. 1. – P. 227–240. – DOI 10.1007/s11071-021-06653-3.
5. Иванов С.Д., Косцов Э.Г. Быстродействующий неохлаждаемый приемник ИК излучения на основе тонких пленок ниобата бария-стронция // XXII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС–XXII) (г. Екатеринбург, Россия, 25–28 августа 2021). Сборник тезисов. – 2021. – С. 267.
6. Терещенко О.Е., Иванов С.Д., Половников Н.А., Соколов А.А., Русецкий В.С., Голяшов В.А., Миронов А.В., Дёмин А.Ю. Концепция пировидикона на основе пироэлектрического электронно-оптического преобразователя // Там же. – С. 49.
7. Терещенко О.Е., Иванов С.Д., Половников Н.А., Соколов А.А., Русецкий В.С., Голяшов В.А., Ярошевич А.С., Миронов А.В., Дёмин А.Ю. Новая концепция пировидикона на основе пироэлектрического электронно-оптического преобразователя диапазона 1–12 мкм // Фотоника–2021: Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) (г. Новосибирск, Россия, 4–8 октября, 2021): тезисы докладов. – С. 33. – DOI 10.34077/RCSP2021-33.
8. Багинский И.Л. Предельная удельная мощность ёмкостных электростатических двигателей со структурой металл-тонкоплёночный сегнетоэлектрик // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 85–91. – DOI: 10.15372/AUT20210310.
9. Коняшкин В.В., Соколов А.А. Электростатический преобразователь // Заявка на изобретение № 2021129841/07(063283), 2021.

ПРОЕКТ: Разработка физических основ работы сенсорных систем на основе элементов волоконной и интегральной оптики.

№ гос. рег. АААА-А19-119112990054-4

Исполнители проекта:

Лаборатория оптических сенсорных систем

Научный руководитель профессор РАН, д.ф.-м.н. Каблуков С.И.

Разработка и исследование одночастотного источника для задач спектроскопии газа

Разработан узкополосный волоконный лазер с широкополосной перестройкой длины волны в области 2.1 мкм. Впервые экспериментально наблюдался и исследован переход от квазинепрерывной к импульсной генерации, наблюдаемый в гольмиевых волоконных лазерах. Предложено модельное описание перехода на основе эффективности записи динамической решетки в разных спектральных диапазонах. В частности, была показана невозможность формирования достаточно сильной и узкополосной динамической решетки за один импульс генерации. Полученные результаты могут

быть использованы при разработке перестраиваемых по длине волны источников излучения для задач спектроскопии в 2-микронной области спектра [1–4].

Исследование возможности измерения акустических воздействий с помощью динамических решеток инверсии населенности в активных волокнах

Продемонстрировано, что внешние акустические воздействия влияют на характеристики излучения лазера на основе динамических решеток инверсной населённости. Было продемонстрировано, что звуковое воздействие на активное волокно, в котором формируется динамическая решетка, проявляет себя как в модуляции чирпа оптической частоты, так и в модуляции амплитуды излучения лазера. Благодаря этому становится возможным использование лазера непосредственно в качестве анализатора акустических воздействий.

Разработка источника зондирующего излучения для распределенного датчика температуры, работающего в широком температурном диапазоне

В работе исследовалась распределенная сенсорная система температуры с длиной линии до 16 км (рис. 2.26). Источник задающего излучения прибора состоял из импульсного полупроводникового лазера с длиной волны генерации ~1550 нм и эрбиевого усилителя, используемого для повышения пиковой мощности. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование влияние шума, вызванного спонтанным излучением, в зондирующем импульсном излучении на искажение форм рефлектограмм в распределенном датчике температуры на основе комбинационного рассеяния света. Доля спонтанного излучения, выходящая из эрбиевого усилителя, может достигать 50 % от полной мощности.

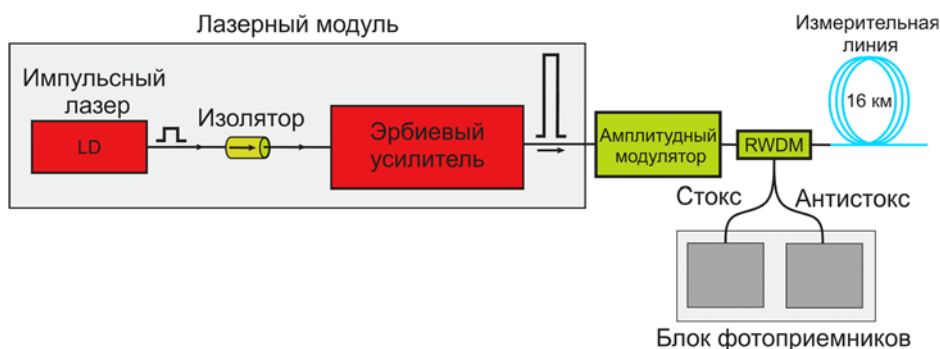


Рис. 2.26. Схема термометрии в распределенных волоконных сенсорных системах со спектральной фильтрацией излучения

Это приводит к отклонениям рефлектограмм в датчике температуры от теоретической экспоненциальной зависимости. Данный эффект может в итоге приводить к ошибке измерения температуры в несколько градусов. Фильтрация излучения модулятором амплитуды позволяет уменьшить эти

отклонения [5–6]. Пример управления спектром источника (рис. 2.27, а) в разных режимах работы амплитудного модулятора показан на рис. 2.27.

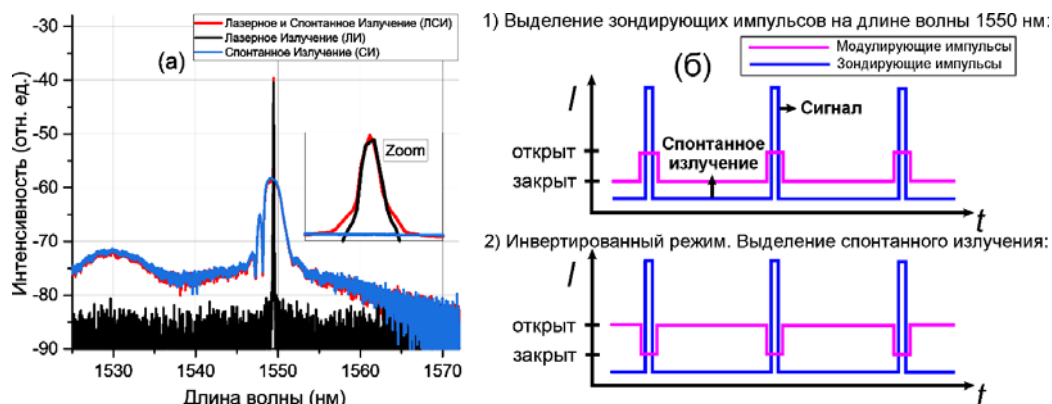


Рис. 2.27. Спектр зондирующего излучения на выходе модулятора в различных режимах модуляции (а); качественное объяснение спектрального разделения с помощью амплитудного модулятора (б)

Публикации:

1. Vladimirskaia A.D., Kamynin V.A., Lobach I.A., Kablukov S.I. Robust operation of linearly polarized broad-range self-sweeping Ho-doped fiber laser // *Laser physics letters*. – 2021. – Vol. 18, is. 7. – P. 075101. – DOI 10.1088/1612-202X/ac0154.
2. Vladimirskaia A.D., Lobach I.A., Kablukov S.I., Kamynin V.A. Broad-range self-sweeping Ho-doped fiber laser for N2O spectroscopy tasks // *Proceedings of SPIE*. – 2021. – Vol. 11901: Advanced sensor systems and applications XI. – P. 11901OH (9 pp.). – DOI 10.1117/12.2601428.
3. Vladimirskaia A.D., Lobach I.A., Kablukov S.I. Broad-range self-sweeping linearly polarized Ho-doped fiber laser // *Optics InfoBase Conference Papers*. – 2021. – CLEO: Science and Innovations (San Jose, California, United States May 9–14, 2021). – P. JW1A.121. P. 9572625. – DOI 10.1364/CLEO_AT.2021.JW1A.121.
4. Владимирская А.Д., Камынин В.А., Лобач И.А., Каблуков С.И. Гольмиевый лазер с самосканированием длины волны в широком диапазоне и линейной поляризацией излучения // *Фотон-экспресс*. – 2021. – № 7 – С. 12–13.
5. Калмыков Н.И., Коваленко Д.А., Лобач И.А., Каблуков С.И. Искажение формы рефлектограммы в распределенных волоконных системах при наличии спонтанного шума в зондирующем излучении // *Квантовая электроника*. – 2021. – Т. 51, № 12. – С. 1107–1112. – DOI 10.1070/QEL17661.
6. Калмыков Н.И., Коваленко Д.А., Лобач И.А. Влияние спонтанного излучения на форму сигналов в распределенном волоконном датчике температуры на основе комбинационного рассеяния света // *Фотон-экспресс*. – 2021. – № 6. – С. 353–354. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-353-354.

ПРОЕКТ: Разработка теоретической базы и инструментальных средств проектирования для задач создания программного обеспечения киберфизических систем. Развитие методов повышения качества интеллектуальных систем и поведенческих алгоритмов.

№ гос.рег. АААА-А19-119120290056-0

Исполнители проекта:

Лаборатория киберфизических систем

Научный руководитель: д.т.н. **Зюбин В.Е.**

Исследование существующих методов и средств спецификации для систем управления, построенных по технологии промышленного Интернета вещей

На основе анализа текущего состояния исследований и практики разработки киберфизических систем показано, что процесс-ориентированный подход наиболее полно соответствует специфике алгоритмов функционирования киберфизических систем/приложений промышленного Интернета вещей. При этом эффективная разработка алгоритмов управления данного класса задач должна включать в себя не только средства спецификации собственно алгоритмов, но и средства спецификации требований к ним, а также предусматривать создание специализированных интегрированных сред, включающих средства динамической и формальной верификации, отладки, автоматического развертывания создаваемых алгоритмов на распределенных узлах системы промышленного Интернета вещей, и средства статического анализа.

В качестве блоков для достижения поставленной задачи были предложены концепция событийно-темпоральной спецификации алгоритма функционирования системы управления [1] и концепция топологически-независимой технологически-ориентированной (application-centric) спецификации на основе процесс-ориентированного расширения языка МЭК 61131-3 ST и виртуальной шины МЭК 61499 [2].

В продолжение работ по развитию инструментальных средств процесс-ориентированного программирования создан прототип сетевой интегрированной среды разработки [3, 4] и опробована возможность рефакторинга парсера языка Reflex с использованием стека технологий Eclipse/Xtext [5], исследована возможность построения отладчика Reflex-программ [6]. Сделан обзор средств моделирования, спецификации и верификации киберфизических систем на основе систем уравнений первого порядка [7].

Публикации:

1. Zyubin V.E., Anureev I., Garanina N., Staroletov S., Rozov A.S., Liakh T.V. Event-Driven Temporal Logic Pattern for Control Software Requirements Specification // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2021. – Vol. 12818: 9th International Conference on Fundamentals of Software Engineering, FSEN 2021 (May 19–21, 2021, Virtual, Online). – P. 92–107. – DOI: 10.1007/978-3-030-89247-0_7.
2. Zyubin V.E., Rozov A.S. Using Process-Oriented Structured Text for IEC 61499 Function Block Specification // Advances in Model and Data Engineering in the Digitalization Era: MEDI 2021 International Workshops: DETECT, SIAS, CSMML, BIOC, HEDA (Tallinn, Estonia, June 21–23, 2021): Proceedings. – 2021. – P. 217–227. – DOI 10.1007/978-3-030-87657-9_17.

3. Bashev V., Rozov A.S., Zyubin V.E. PoST2ST: a Web service for translating poST programs to the IEC 61131-3 structured text // International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2021. – Vol. 2021–June: 22nd IEEE International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Souzga, the Altai Republic, Russia 30 June – 4 July, 2021). – P. 9507695. – P. 520–523. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507695.
4. Gornev I., Liakh T.V. RIDE: Theia-based Web IDE for the Reflex language // Там же. – P. 9507678. – P. 503–506. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507678.
5. Bastykina A., Zyubin V.E., Rozov A.S. Developing Reflex IDE kernel with Xtext framework // Там же. – P. 9507663. – P. 511–514. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507663.
6. Dvinianin A., Liakh T.V. Debugging Reflex-Programs on Digital Plant Models // Proceedings of the International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021 (Sochi, Russian Federation, September 5–11, 2021). – P. 9537401. – P. 618–622. – DOI 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537401.
7. Staroletov S., Schulte H., Baar T., Konyukhov I., Shilov N., Rozov A.S., Liakh T.V., Zyubin V.E. Modeling and Verification using Different Notations for CPSs: The One-Water-Tank Case Study // 16th Conference on Computer Science and Intelligence Systems, FedCSIS (Sofia, September 2–5, 2021, Virtual): Proceedings. – P. 485–488. – DOI 10.15439/2021F98.

Разработка семантик процесс-ориентированных языков на основе атрибутивных систем

В рамках развития подхода к верификации процесс-ориентированных программ, комбинирующего дедуктивный и онтологический подходы, разработаны онтологическая и основанная на онтологии операционная семантики для процесс-ориентированных программ из общего подмножества языков Reflex и IndustrialC, а также фрагмент онтологической логической семантики на базе нескольких тестовых примеров Reflex-программ. Проведена дедуктивная верификация этих примеров в системе машинной поддержки доказательства Coq [1]. В качестве языка описания онтологий использован язык атрибутивных систем переходов ASL.

Также проводились исследования по возможному применению дедуктивного подхода в других родственных областях. Исследованы вопросы применимости дедуктивного метода доказательства, а конкретно, с использованием средства KeYmaera, реализующего дифференциальную динамическую логику, к доказательству свойств устойчивости непрерывных моделей киберфизических систем, выраженных в виде систем дифференциальных уравнений при помощи метода Ляпунова [2]. Исследован процесс создания и тестирования моделей программ на языке описания смарт-контрактов Solidity для платформы интернет-краудфандинга ScientificCoin [3].

Публикации:

1. Chernenko I., Anureev I.S., Garanina N.O. Proving Reflex program verification conditions in coq proof assistant // International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2021. – Vol. 2021–June: 22nd IEEE International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Souzga, the Altai Republic, Russia 30 June – 4 July, 2021). – P. 9507628. – P. 485–488. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507628.

2. Staroletov S. Automatic proving of stability of the cyber-physical systems in the sense of Lyapunov with KeYmaera // 28th Conference of Open Innovations Association FRUCT (Moscow, Russia, January 27–29, 2021, virtual). – P. 9347586. – DOI 10.23919/FRUCT50888.2021.9347586.
3. Zhdarkin E., Anureev I.S. Development and verification of smart-contracts for the scientific-Coin platform // International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2021. – Vol. 2021–June: 22nd IEEE International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Souzga, the Altai Republic, Russia 30 June – 4 July, 2021). – P. 9507717. – P. 528–532. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507717.

Разработка операционной семантики и методов трансляции программ на процесс-ориентированных языках в программы на языках средств верификации моделей Promela

Предложена система переходов гиперпроцессов (HTS) для моделирования программного обеспечения программируемых логических контроллеров (ПЛК) и новая логика *cycleLTL* для формулирования свойств ПЛК. Разработанная HTS-модель естественным образом отражает особенности программ ПЛК, такие как циклы управления и работу с таймерами. Предложенная темпоральная логика *cycle-LTL* позволяет описывать свойства программ ПЛК как относительно малых временных шагов внутренней фазы исполнения циклов управления, так и больших временных шагов собственно циклов управления. Мы описали трансляцию формул логики *cycle-LTL* в формулы логики *LTL* и доказали её корректность [1]. Эта трансляция демонстрирует, что формулирование свойств систем управления непосредственно в терминах логики *LTL* оказывается значительно более сложным и запутанным. Мы показали, что в силу корректности этой трансляции задача проверки моделей для HTS и *cycle-LTL* является разрешимой.

Предложен метод и алгоритм проверки непротиворечивости требований, представленных в виде *EDTL*-шаблонов на основе *LTL*-семантики требований и анализе комбинаций значений атрибутов шаблона [2]. Описаны псевдокоды алгоритмов, реализующих предложенный метод. Установлено, что сложность основного алгоритма квадратична по отношению к размеру набора требований. Сложность функции сравнения, используемой в алгоритме, экспоненциальна по отношению к размеру атрибутов. Показано, что общая сложность нашего алгоритма ниже, чем сложность автоматных алгоритмов проверки выполнимости для *LTL*-формул. Следовательно, неполнота проверки набора требований предложенным методом компенсируется его относительно низкой сложностью. Алгоритмы могут быть использованы для составления наборов непротиворечивых требований в целях проверки непротиворечивости формальными методами.

Проведен сравнительный анализ языков *Reflex*, и предложен общий подход трансформации *Reflex*-программ в *Promela*-модели [3]. Использование подхода мы проиллюстрировали на примере верификации алгоритма

автоматизированной подъемной платформы для маломобильных пользователей. При практической апробации подхода средствами SPIN/Promela были выявлены ошибки. Нетривиальный характер ошибок демонстрирует полезность формальных методов анализа киберфизических систем.

Публикации:

1. Garanina N.O., Anureev I.S., Zyubin V.E., Staroletov S.M., Liakh T.V., Rozov A.S., Gorlatch S.P. A Temporal Logic for Programmable Logic Controllers // Automatic Control and Computer Sciences. – 2021. – Vol. 55, № 7. – P. 763–775.
2. Garanina N., Koznov D. Static Checking Consistency of Temporal Requirements for Control Software // Advances in Model and Data Engineering in the Digitalization Era: MEDI 2021 International Workshops: DETECT, SIAS, CSMML, BIOC, HEDA (Tallinn, Estonia, June 21–23, 2021). Proceedings. – 2021. – P. 189–203. – DOI 10.1007/978-3-030-87657-9_15.
3. Ponomarenko A.A., Garanina N.O., Staroletov S.M., Zyubin V.E. Towards the translation of Reflex programs to promela: model checking wheelchair lift software // International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2021. – Vol. 2021–June: 22nd IEEE International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Souzga, the Altai Republic, Russia 30 June – 4 July, 2021). – P. 9507563. – P. 493–498. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507563.

Исследование моделей конфигурации рецептивных полей сенсорных нейронов и нейронов памяти

Разработана биологически-подобная модель нейрона детектирования движения [1]. Экспериментально показана ее работоспособность. При апробации на тестовых примерах была выявлена проблема равномерной заливки рецептивного поля нейрона, детектирующего движение объекта. Для решения проблемы было предложено дополнить формулу ядра нейрона тормозной компонентой с коэффициентом, задающим ослабление веса во времени, что исключает ложную активацию нейрона.

Проведен обзор различных моделей нейронов конца линий и их сравнительный анализ. Предложена и исследована модель комплексного нейрона конца линий, базирующаяся на фильтре Габора [2], обеспечивающая максимальный отклик на конце линии и позволяющая повысить качество операции выделения краев изображения. Экспериментально показано, что предложенная модель отличается простотой и, в тоже время, повышенной точностью. Описана сверточная нейронная сеть выделения краев на базе предложенной модели.

Публикации:

1. Kugaevskikh A. Research of a Neuron Model with Signal Accumulation for Motion Detection // 2021 Third International Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN) (Kaliningrad, Russia): IEEE, 2021. – P.46–49. – DOI: 10.1109/CNN53494.2021.9580340.
2. Кугаевских А.В. Новая модель нейрона конца линий, применимая в сверточных нейронных сетях // Вестник НГУ. Сер. Информационные технологии. – 2021. – Т. 19, № 3. – С. 50–60. – DOI 10.25205/1818-7900-2021-19-3-50-60.

3. РФФИ, РФФИ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ

В 2021 году сотрудники Института выполняли работы в рамках 12 проектов по грантам РФФИ (табл. 3.1):

Таблица 3.1.

№ п/п	Название проекта РФФИ	Руководитель
1.	Устойчивый алгоритм решения прямой и обратной задачи рассеяния для сложных нелинейных волновых полей	Гелаш Андрей Александрович
2.	Квантовая релаксация ядерных спиновых изомеров молекул	Чаповский Павел Львович
3.	Развитие сверхразрешающей термохимической лазерной технологии формирования компьютерно-синтезированных дифракционных наноструктур	Корольков Виктор Павлович
4.	Исследование фазовых переходов липидов при криоконсервации ооцитов млекопитающих методом комбинационного рассеяния света с использованием изотопных меток	Окотруб Константин Александрович
5.	Поляризационно-чувствительная терагерцовая спектроскопия	Мамрашев Александр Анатольевич
6.	Модовая динамика и нелинейные эффекты при ВКР преобразовании многомодового пучка в градиентных волокнах	Бабин Сергей Алексеевич
7.	Фундаментальные задачи и новые технологии фотоники многомодовых волоконных световодов с регулярными и случайными 3-мерными структурами	Бабин Сергей Алексеевич
8.	Перспективные режимы формирования субволновых лазерно-индуцированных периодических структур фемтосекундным излучением	Достовалов Александр Владимирович
9.	Разработка физических основ волоконных лазеров с динамической распределенной обратной связью для практических применений	Каблуков Сергей Иванович
10.	Исследование криоконсервации репродуктивных клеток животных методом спектроскопии комбинационного рассеяния света с использованием дейтерированных меток	Окотруб Константин Александрович
11.	Спектроскопия неупругого рассеяния света в модельных и имплантируемых коллагенсодержащих материалах	Зыкова Валерия Андреевна
12.	Спектроскопия комбинационного рассеяния света многокомпонентных фосфолипидных мембран	Суровцев Николай Владимирович

Были продолжены работы по гранту Фонда НТИ участнику консорциума: «Создание технологии производства компактных анализаторов сигналов волоконно-оптических датчиков на основе интегральной фотоники и волоконной оптики для применений в нефтегазовой промышленности, энергетике и транспорте» (рук. Шелемба Иван Сергеевич).

Кроме того, 2021 год стал заключительным для двух проектов РФФИ, выполняемых молодыми сотрудниками Института:

- «Статистическое поведение фазовых параметров данных рассеяния в случайных нелинейных волновых процессах» (рук. к.ф.-м.н. Гелаш Андрей Александрович),
- «Создание и оценка аналитических возможностей метода атомно-эмиссионной спектроскопии с возбуждением спектров в двухструйном дуговом плазмотроне с использованием искрового пробоотбора и пневматического распыления растворов» (рук. к.х.н. Купцов Алексей Владимирович).

4. ПРИКЛАДНЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОЕКТЫ

4.1. Спектрометр для сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа геологических порошковых проб (ИАиЭ СО РАН, ООО «ВМК-Оптоэлектроника»)

Разработан не имеющий аналогов в мире спектрометр высокого разрешения для экспресс-определения валовых содержаний благородных металлов (БМ: Au, Ag, Pt, Pd, Ir, Os, Rh и Ru) в порошковых геологических пробах методом сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектрометрии (САЭС), который построен на базе светосильного полихроматора «Гранд» с высокоскоростными детекторами БЛПП-2000 и БЛПП-4000.

Принцип работы спектрометра: порошковая проба равномерно в течение 20 секунд вводится в плазму электрической дуги переменного тока, где частицы нагреваются и образуют атомный пар, а входящие в их состав атомы химических элементов излучают на характерных для них длинах волн. В компьютер вводится временная последовательность из десятка тысяч спектров этого излучения. Когда частицы, содержащие БМ, попадают в плазму, наблюдаются вспышки (сцинтилляции) их линий в спектрах. С помощью программного обеспечения находят эти вспышки, измеряют их интенсивность и рассчитывают валовые содержания БМ, число и размеры частиц-носителей БМ.

Преимущества спектрометра:

- высокая чувствительность (пределы обнаружения БМ – на уровне их средних содержаний в земной коре – 1–50 мг/т, см. табл. 4.1),
- производительность – до 500 проб за смену,
- простота пробоподготовки – пробы достаточно измельчить до 200 меш 75 мкм.



Рис. 4.1. Общий вид спектрометра

В состав спектрометра входят:

- электродуговая установка «Поток»;
- спектральный прибор «Гранд»;
- стабилизатор вытяжной вентиляции;
- программное обеспечение «Атом»;
- автоматизированная подача пробы с двумя транспортёрными лентами;
- генератор дугового разряда на современной полупроводниковой элементной базе.

Табл. 4.1. Среднее содержание в земной коре и минимальные концентрации благородных металлов и элементов-спутников, определяемые в порошковых геологических пробах спектрометром «Гранд-Поток» методом САЭС

Элемент	Ед. изм., % мас.	Среднее содержание в земной коре	С min в градуировочных образцах
Au	10 ⁻⁷ (мг/т)	4.3	0.6
Ag		60	4
Pt		5	4
Pd		10	1.3
Rh		1	30
Ru		50	0.4
Ir		1	3
Os		50	10
As		10 ⁻⁴ (г/т)	1.7-1.8
Bi	0.009-0.17		0.04
Cd	0.13-0.20		0.025
Cu	47-55		11
Ni	58-75		5
Pb	16-12.5		2
S	470-200		50000
Sb	0.5-0.2		0.8
Se	0.05		17
Sn	2.5-2		1.8
W	1.3-1.5		0.2

Применение: оперативный контроль элементного состава порошковых геологических проб в геологоразведывательных лабораториях и обогатительных предприятиях.

Уровень практической реализации: спектрометр внедрён в производство на предприятии «ВМК-Оптоэлектроника» под наименованием «Гранд-Поток». Он является средством измерения массовой доли определяемых элементов состава веществ и материалов (№ 33011-11 в Госреестре средств измерения

РФ, Реестре государственной системы обеспечения единства измерений Республики Казахстан за № KZ.02.03.07668-2017/33011-11, Госреестре средств измерений Республики Узбекистан под № 02.3722-18).

Патентная защита: Патент на изобретение № 2702854 Способ определения содержания элементов и форм их присутствия в дисперсной пробе и её гранулометрического состава. Правообладатели: ИАиЭ СО РАН и ООО «ВМК-Оптоэлектроника».

4.2. Волоконный одночастотный лазер (ВОЛ)

На базе технологий записи решеток в волоконных световодах в ИАиЭ СО РАН разработан лазер с востребованными на рынке характеристиками. Основным элементом лазера является компактный малошумный резонатор в волоконном световоде, к которому добавлены каскады усиления, система управления и интерфейс (управляющая программа на ПК).

Основное преимущество – низкий уровень шума излучения ВОЛ-лазера, что позволяет использовать его в качестве источника излучения для систем прецизионных измерений, например акустооптических датчиков; а также в качестве прецизионного источника излучения для научно-исследовательских задач. Заказчиками ВОЛ-лазеров являются телекоммуникационные компании, приборостроительные предприятия, научно-исследовательские центры, нефтегазодобывающие предприятия, предприятия авиакосмической отрасли.

Волоконный одночастотный лазер по основным характеристикам не уступает зарубежным аналогам, а по выходной мощности превышает их в несколько раз.

Табл. 4.2. Сравнение параметров зарубежных лазеров и ВОЛ-лазера

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ			
	RIO ORION 1550 nm	NKT KOHERAS BASIK MIKRO	ВОЛ-Лазер
Выходная мощность	10 mW есть опция 20 mW	40 mW	130 mW
Стабильность мощности	±10 % при T = 0 to +70 °C ±5% при T = +10 to +55 °C ±0.3% при ΔT < ±1°C	-	1 % при T = +10 to +55 °C
Центральная длина волны	1530–1565 нм, ± 40 pm	1535–1580	1535–1580
Ширина линии генерации	Grade 5: <1 kHz	< 0.1 kHz (120 μs integration time)	< 0.1 kHz (100 μs integration)

			time) 1 kHz –3 kHz (integration time> 1)
Фазовый шум	10 $\mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ 1 m OPD на 10 Hz, 2 $\mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ 1 m OPD на 200 Hz	32 ($\mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$)/m @ 10 Hz 3.2 ($\mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$)/m @ 100 Hz 0.3 ($\mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$)/m @ 20 kHz	32 ($\mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$)/m @ 5 Hz 3.2 ($\mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$)/m @ 100 Hz
Перестройка длины волны	30 pm с помощью TEC	± 150 pm, макс. 450 pm с помощью TEC	150 pm с помо- щью TEC
Стабильность длины волны	± 10 pm при T = 0 to +70 °C ± 5 pm при T = +10 to +55 °C ± 0.5 при $\Delta T <$ ± 1 °C		< 200 MHz, <0.1 pm
Относитель- ный шум ин- тенсивности (RIN)	-140 dB/Hz при >1kHz shot noise limited при >500 kHz	< -100 dBc/Hz @ peak < -135 dBc/Hz @ 10 MHz	< -110 dBc/Hz - -100 dBc/Hz @ peak < -135 dBc/Hz @ 10 MHz
Пик RIN		Approximately 0.7 MHz	0.55 MHz– 0.7 MHz
Отношение сигнал/шум	> 60 dB на длине волны +/- 1 nm	> 50 dB (typ. 55)	>60 dB
Поляризацион- ный коэф. экс- тинкции	> 20 dB	> 23 dB (для РМ опции)	> 20 dB
Оптическая изоляция	> 40 dB		> 30 dB

Лазеры с такими параметрами не производятся в России, находятся в списках продукции двойного назначения и запрещены к поставке в Россию.

Области применения: квантовая связь; охранные системы; лазерное приборостроение; научно-прикладные исследования; нефтегазодобыча; авиакосмическая отрасль; акустооптические датчики.

Уровень практической реализации: на текущий момент лазер поставляется в компанию «Т8» (Ростелеком) и ПНППК (Пермская научно-производственная приборостроительная компания).

Патентная защита: в ФИПС отправлены материалы заявки на патент.

Ориентировочная стоимость: 2 000 000 рублей (на 2021 г.)

5. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

5.1. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН В 2021 ГОДУ (на 31.12.2021)

<u>Численный состав (чел.)</u>	
Общая численность	426
В том числе:	
Исследователей по основному месту работы	138
Численность исследователей до 39 лет по основному месту работы	59
Академиков	1
Член-корреспондентов РАН	2
Профессоров РАН	2
Докторов наук	28
Кандидатов наук	75
Аспирантов	19
<u>Публикации (шт.)</u>	
Монографии, главы в монографиях	7
Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (отечественных)	87
Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (зарубежных)	106
Материалы конференций	255
Охранные документы	8
<u>Количество проектов и договоров</u>	
Проекты НИР госзадания	14
РФФИ и РФФ	14
Прочие гранты фондов	1
Договоры и контракты	66

5.2. НАУЧНО–ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, КАДРЫ, ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

В 2021 году аспирантура ИАиЭ СО РАН вела обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров по следующим направлениям подготовки:

- **02.06.01 Компьютерные и информационные науки.** Специальность 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».
- **03.06.01 Физика и астрономия.** Специальность 01.04.05 «Оптика».

- **12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии.** Специальность 05.11.07 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

В отчётном году в аспирантуру Института принято 2 человека для обучения по специальности 01.04.05 «Оптика», 5 человек – по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», 4 человека – по специальности 05.11.07 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

Всего на 31.12.2021 обучение проходили 19 аспирантов. В 2021 году 4 выпускника закончили обучение с представлением диссертации, 1 человек находится в академическом отпуске.

Диссертационный совет Д 003.005.02 (специальности: 01.04.05 – «Оптика», физико-математические и технические науки; 05.11.07 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы», технические науки; 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», технические науки) провёл 1 заседание, защищено 4 кандидатских диссертации.

На соискание ученой степени были представлены диссертации:

- *Голошевский Николай Владимирович* «Методы и программно-аппаратные средства управления устройствами лазерной микрообработки с комплементарной системой позиционирования» (*научный руководитель: к.ф.-м.н., в.н.с. ИАиЭ СО РАН Бессмельцев В.П.*). Искомая степень: к.т.н. по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».
- *Розов Андрей Сергеевич* «Разработка моделей и методов процесс-ориентированного программирования для открытых микроконтроллерных платформ» (*научный руководитель: д.т.н., в.н.с. ИАиЭ СО РАН Зюбин В.Е.*). Искомая степень: к.т.н. по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».
- *Белюсов Дмитрий Александрович* «Разработка и исследование методов и устройств локального контроля рельефно-фазовых оптических элементов и амплитудных решёток» (*научный руководитель: д.т.н., зам. директора по научной работе ИАиЭ СО РАН Корольков В.П.*). Искомая степень: к.т.н. по специальности 01.04.05 «Оптика».
- *Горбунов Олег Александрович* «Изучение статистических свойств излучения многочастотных квази-непрерывных волоконных лазеров» (*научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. РАН, проректор по научной деятельности НГУ Чуркин Д.В.*). Искомая степень: к. ф.-м. н. по специальности 01.04.05 «Оптика».

Институт является базовым для специализированных кафедр Новосибирского государственного университета: «Квантовая оптика» (КО) ФФ

НГУ – зав. кафедрой, научный руководитель Института академик *Шалагин А.М.*, «Автоматизация физико-технических исследований» (АФТИ) ФФ НГУ – зав. кафедрой, науч. сотрудник Института к.т.н. *Лысаков К.Ф.*, «Систем информатики» ФИТ НГУ – зав. кафедрой, д.ф.-м.н., профессор, зам. дир. по научной работе ИАиЭ СО РАН *Лаврентьев М.М.* и «Компьютерные технологии» (КТ) ФИТ НГУ – зав. кафедрой, д.т.н., доцент, вед. науч. сотрудник. ИАиЭ СО РАН *Зюбин В.Е.*, а также кафедры Новосибирского государственного технического университета «Оптические информационные технологии» (ОИТ) ФТФ НГТУ – зав. кафедрой заведующий лабораторией оптических информационных систем Института д.т.н. *Лабусов В.А.*

На базе Института организованы постоянно действующие семинары: межинститутские УНЦ «Квантовая оптика» (руководитель акад. *Шалагин А.М.*) и «Инжиниринг современных информационных систем» (руководитель д.т.н. *Зюбин В.Е.*) и межлабораторный «Информационные технологии и системы» (руководитель д.т.н., проф. *Потатуркин О.И.*), в 2021 году проведено 8 семинаров «Квантовой оптики», 9 семинаров «Инжиниринг современных информационных систем» в дистанционном формате.

Достижения молодых ученых Института представлялись на различных конференциях и конкурсах, были отмечены различными грантами и стипендиями.

Мэрия г. Новосибирска поощрила 35 молодых учёных за успехи в исследованиях. В их числе сотрудница Института автоматизации и электрометрии СО РАН лаборатории спектроскопии конденсированных сред (04) Ирина Зайцева также стала лауреатом премии с проектом «Исследование свойств сегнетоэлектрических кристаллов и релаксоров в параэлектрической фазе с помощью спектроскопических методов».

11–13 ноября 2021 г. молодые специалисты Института автоматизации и электрометрии СО РАН приняли участие в конференции «Современные тенденции развития функциональных материалов», которую организовал Университет «Сириус». На конференцию из общего числа приславших заявки было отобрано 100 работ, в число которых попали исследования двух молодых специалистов лаборатории спектроскопии конденсированных сред (04) ИАиЭ СО РАН: Юлии Зайцевой и Ирины Зайцевой. Их работы касались современных методов исследования материалов.

Доклад И. Зайцевой «Применение спектроскопических методов для изучения особенностей в параэлектрической фазе в сегнетоэлектрических материалах» (руководитель – к.ф.-м.н. Пугачёв А.М.) отмечен дипломом первой степени за лучший доклад на конференции.

К Дням российской науки 11 февраля 2021 г. в ИАиЭ СО РАН была организована виртуальная экскурсия для всех желающих силами Совета научной молодёжи Института. В ходе экскурсии зрители познакомились с лабораториями Института и учёными, проводящими исследования.

В ноябре Институт традиционно принял участие во Всероссийском фестивале НАУКА 0+ – сотрудники лаборатории 09 при поддержке пресс-службы Института записали лекцию по робототехнике.

5.3. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

В 2021 году действовали следующие договоры и соглашения о международном сотрудничестве:

- Договор о сотрудничестве ИАиЭ СО РАН с Финской фирмой «Арбонаут»;
- Меморандум о взаимопонимании между Евразийским национальным университетом имени Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Республика Казахстан) и Институтом автоматки и электрометрии СО РАН (Новосибирск, Россия);
- Меморандум о взаимопонимании. По совместной программе исследований в области структурирования поверхности материалов лазерным излучением между Центром HiLASE, Институтом физики Чешской академии наук (IoP – HiLASE), Чешская Республика и Институтом автоматки и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия.

С Объединённым Институтом проблем информатики НАН Беларуси проведены и опубликованы совместные работы по проекту «Создание и применение высокопроизводительных систем интеллектуальной программной поддержки для решения трудоемких задач информатики и биоинформатики». Проект представлен на соискание премии имени академика В.А. Коптюга 2021 года, по итогам конкурса занял 2 место.

Институт поддерживает членство в Коллегии национальных экспертов стран СНГ по лазерам и лазерным технологиям, общий состав представителей от ИАиЭ СО РАН – 6 человек. Продлено членство Института в международной Лазерной ассоциации (ЛАС).

Поддерживается сотрудничество с Международной Ассоциацией научного и технологического развития IASTED. Заведующий лабораторией 12 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).

В ИАиЭ СО РАН продолжают работать международные студенческие ячейки OSA и SPIE, в рамках которых аспиранты проводят научно-популярную работу. Научный руководитель студенческих ячеек – С.А. Бабин (член Американского оптического общества (OSA) и Международного общества фотоники (IEEE Photonics), руководитель Сибирского регионального центра Лазерной ассоциации стран СНГ).

Сотрудники Института принимают участие в исследованиях лаборатории нелинейной оптики волноводных систем по направлению «Пространственно-временная нелинейная оптика многомодовых и многоядерных волоконных систем» под руководством профессора С. Вабница (Университет Брешиа, Италия) 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 рамках выполнения работ по проекту был разработан экспериментальный метод поточечной записи решёток показателя преломления в многосердцевидных волокнах с помощью сфокусированного фемтосекундного лазерного излучения. Для эффекта пространственной самоочистки лазерного пучка в многомодовых волокнах, заключающегося в улучшении качества выходного излучения при больших мощностях, построена аналитическая модель, объясняющая суть процесса. Результаты могут найти применение во многих практических областях, например при передаче мощных лазерных пучков с высоким качеством и построении амплитудных модуляторов, необходимых для генерации импульсов предельно короткой длительности.

Результаты исследований ученых ИАиЭ СО РАН были представлены 160 приглашенными докладами на международных конференциях.

5.4. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2021 г. Институтом получено:

- 2 патента на изобретения:
 - Оптико-акустический приемник инфракрасного и ТГц излучения: пат. 2746095 Рос. Федерация на изобретение. Гибин И.С., Котляр П.Е. Заявка 2020121927, дата приоритета 26.06.2020;
 - Устройство для измерения малых разностей температур: пат. 2760923 Рос. Федерация на изобретение. Лубков А.А., Попов Ю.А. Заявка 2020143006, дата приоритета 24.12.2020;
- 1 патент на полезную модель:
 - Нанолитограф: пат. 204171 Рос. Федерация на полезную модель. Кирьянов А.В., Кирьянов В.П. Заявка 2020107258, дата приоритета 17.02.2020.
- 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ:
 - Модуль отслеживания параметров съемочной видеокамеры и объектов съемки в задачах автоматической и полуавтоматической передачи данных с помощью управляемых PTZ-видеокамер: свидетельство 2021614827. Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., заявка № 2020132807, приоритет: 05.10.2020;

- Программа оценивания отклонения скорости сканирования в устройстве с многорядным фотоприемником по произвольному изображению: свидетельство 2021610008. Громилин Г.И., Косых В.П., заявка № 2020667129, приоритет: 23.12.2020;
 - Программа имитационного моделирования входных воздействий матричных фотоприёмных устройств: свидетельство 2021611242. Громилин Г.И., Яковенко Н.С., заявка № 2021610226, приоритет: 12.01.2021;
 - Программа нахождения центра зрачка в системе определения направления взгляда при ИК освещении лица: свидетельство 2021612786. Громилин Г.И., Косых В.П., заявка № 2021611387, приоритет: 10.02.2021;
 - Программа оценки трёхмерных координат центра роговицы и точки прицеливания в системе определения направления взгляда: свидетельство 2021612657. Громилин Г.И., Косых В.П., Яковенко Н.С., заявка № 2021611451, приоритет: 11.02.2021.
- **В РОСПАТЕНТе находятся заявки на регистрацию изобретения:**
 - Способ повышения точности угловых измерений (Кирьянов В.П., Кирьянов А.В.), заявка № 2021116222, приоритет: 02.06.2021;
 - Способ оптического контроля безопасности эксплуатации конструкций из полимерных и метало-полимерных композитных материалов (Шелемба И.С., Федотов М.Ю., Будадин О.Н.), заявка № 2021122836, приоритет: 29.07.2021;
 - Туннельный гелий-графеновый опико-акустический приемник инфракрасного и ТГц излучения (Гибин И.С., Котляр П.Е.), заявка № 2021129845, приоритет: 12.10.2021;
 - Электростатический преобразователь (Соколов А.А., Коняшкин В.В.), заявка № 2021129841, приоритет: 12.10.2021;
 - Способ неразрушающего контроля качества конструкции и ресурса автомобильного газового баллона из полимерных композиционных материалов и устройство для его осуществления (Будадин О.Н., Федотов М.Ю., Шелемба И.С., Козельская С.О.), заявка № 2021140020, приоритет: 30.12.2021;
 - Способ контроля конструкции баллона давления из полимерного композиционного материала с металлическим лейкером и устройство для его осуществления (Будадин О.Н., Федотов М.Ю., Шелемба И.С., Козельская С.О.), заявка № 2022107800, приоритет: 23.03.2022.

Поддерживаются в действии: 85 патентов на изобретения и полезные модели; 70 программ для ЭВМ; 1 база данных; 2 товарных знака; 10 ноу-хау.

В Институте работают Комиссия по охране результатов интеллектуальной деятельности, Комиссия по экспортному контролю и вопросам экспертизы и Комиссия по защите конфиденциальной информации.

В ФГАНУ «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти» (ФГАНУ ЦИТиС) для регистрации в государственном информационном фонде неопубликованных документов направлены, в ЕГИСУ НИОКТР зарегистрированы:

- **Новые проекты госзадания:**

1. Физические основы работы распределенных волоконно-оптических сенсорных систем для измерения физических величин (№ гос. рег. 122031600174-5), *руководитель С.И. Каблуков*.
2. Разработка теоретических основ, методов, языковых и инструментальных средств для использования в автоматизированных системах управления, построенных по технологии промышленного Интернета вещей (№ гос. рег. 122031600173-8), *руководитель В.Е. Зюбин*.

- **Отчеты госзаданий:**

1. Физические основы лазерных и сенсорных систем с использованием структурированных волоконных световодов и микрорезонаторов (№ отчета 222021600261-2), *руководитель С.А. Бабин* (№ проекта 121030500067-5).
2. Параметрическое автоматизированное управление потоками данных в режиме реального времени с применением специализированных процессорных архитектур (№ отчета 222021500494-5), *руководитель М.М. Лаврентьев* (№ проекта 121041800012-8).
3. Нелинейная фотоника структурированных сред (№ отчета 222021600262-9), *руководитель С.Л. Микерин* (№ проекта 121031700030-4).
4. Разработка теоретической базы и инструментальных средств проектирования для задач создания программного обеспечения киберфизических систем. Развитие методов повышения качества интеллектуальных систем и поведенческих алгоритмов (№ отчета И222021000055-3), *руководитель В.Е. Зюбин* (№ проекта АААА-А19-119120290056-0).
5. Развитие методов оптической спектроскопии для задач материаловедения и биологической физики (№ отчета 222021800226-9), *руководитель Н.В. Суровцев* (№ проекта 121032400052-6).
6. Разработка нанoeлектромеханических структур на основе сегнетоэлектрических плёнок (№ отчета 222021500521-8), *руководитель А.А. Соколов* (№ проекта 121052500063-9).
7. Новые нелинейные эффекты при распространении высоко-энергетических импульсов в оптическом волокне и микро-структурах

- (№ отчета 222021500530-0), *руководитель Д.А. Шапиро* (№ проекта АААА-А21-121012190005-2).
8. Развитие методов синтеза рельефно-фазовых поверхностных структур и оптических элементов на их основе (№ отчета 222021500499-0), *руководитель Р.К. Насыров* (№ проекта 121041500060-2).
 9. Когерентные эффекты и эффекты столкновений для атомов и их конденсатов, находящихся в поле излучения (№ отчета 222021800224-5), *руководитель А.М. Шалагин* (№ проекта 121021800168-4).
 10. Разработка методов управления движением автономных динамических объектов в условиях неопределённости и наличия возмущений. Разработка технологии моделирования движения летательных аппаратов (№ отчета 222021800227-6), *руководитель К.Ю. Котов* (№ проекта 121042900050-6).
 11. Научные основы, методы и интеллектуальные информационные технологии обнаружения и классификации объектов в задачах мониторинга и прогнозирования эволюции динамических сцен и (№ отчета 222021500492-1), *руководитель С.М. Борзов* (№ проекта 121022000116-0).
 12. Развитие методов и технологий прецизионного гибридного послойного лазерного формообразования (№ отчета 222021500519-5), *руководитель В.П. Бессмельцев* (№ проекта 121051700156-9).
 13. Развитие высокоинформативных оптических методов исследования состава и микроструктуры материалов и веществ (№ отчета 222021500496-9), *руководитель В.А. Лабусов* (№ проекта 121022000126-9).
 14. Разработка физических основ работы сенсорных систем на основе элементов волоконной и интегральной оптики (№ отчета И222021000391-2), *руководитель С.И. Каблуков* (№ проекта АААА-А19-119112990054-4).

5.5. НАГРАДЫ

В 2021 году сотрудниками Института получены следующие награды, дипломы и премии за достижения в различных областях исследований и разработок.

Авторскому коллективу учёных Института автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, предприятий «ВМК-Оптоэлектроника» и «Новосибирский завод химконцентратов» присуждена **государственная премия Новосибирской области** за разработку и внедрение в эксплуатацию комплекса оптического спектрального оборудования для высокоинформативного аналитического контроля материалов атомной

промышленности. Среди награждённых – сотрудники ИАиЭ СО РАН: *Зарубин И.А., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Путьмаков А.Н., Селюнин Д.О.* Внедрение комплекса на Новосибирском заводе химконцентратов позволило существенно улучшить точность определения массовых долей химических элементов, расширить номенклатуру высокотехнологичных изделий и повысить конкурентоспособность продукции.

Молодым учёным Лаборатории оптических информационных систем (05) ИАиЭ СО РАН присуждена **премия Научного совета РАН по аналитической химии за создание новых спектрометров для метода сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектроскопии**. С использованием созданных спектральных комплексов в пробах природных и техногенных сред без применения трудоёмкой химической пробоподготовки, в том числе концентрирования и разделения, получены пределы обнаружения золота, серебра, платины, палладия, родия, рутения, иридия и осмия на уровне их кларковых содержаний в литосфере (1–50 ppb), а также проведены первые работы по минералогическому анализу (поиск редких фаз, оценка количества и состава частиц, содержащих благородные металлы; их размера и распределения по крупности) в геологических пробах четырех золоторудных месторождений Северо-Востока России и образцах чёрных сланцев золоторудного месторождения Сухой лог (Восточная Сибирь). Разработки *Бабина С.А.* и *Дзюбы А.А.* внедрены в производство спектральных комплексов «Гранд-Поток», осуществляемое предприятием «ВМК-Оптоэлектроника».

Именные премии Правительства Новосибирской области за выдающиеся научные достижения в 2021 году с присвоением звания лауреата именной премии в номинациях:

«Лучший молодой исследователь» по направлению научного исследования: «Лазерные, плазменные и электронно-лучевые технологии» («Разработка методов фемтосекундной записи волоконных брэгговских решеток для создания новых типов лазеров и оптических датчиков») – н.с., к.ф.-м.н. *Вольф А.А.*,

«Лучший научный руководитель», Премия второй степени («Исследование и разработка волоконных лазеров с динамической распределенной обратной связью») – с.н.с., к.ф.-м.н. *Лобач И.А.*

Стипендии работникам организаций оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации – в.н.с., к.т.н. *С.М. Борзов*, н.с., к.т.н. *Катаионов Д.Н.*

Сертификат за вовлеченность в работу по организации международной конференции от IEEE EDM'21 (Electron Devices and Materials) вручен заведующему лабораторией киберфизических систем *Зюбину В.Е.*

Благодарственные письма получены:

от имени Оргкомитета Научной премии Сбера и НФПК – заместителю директора по научной работе *Лаврентьеву М.М.* за личный вклад в проведение независимой оценки заявок, представленных на соискание премии;

от имени Российской академии наук *Николаеву Н.А.* за готовность к сотрудничеству и согласие представлять экспертное сообщество РАН.

30 сентября в онлайн-формате состоялась церемония награждения победителей конкурса на **лучший студенческий диплом «BE FIRST!»**. По результатам проверки 1 место в направлении «Физика и астрономия» заняла бакалаврская работа *Куца Р.И.* «Исследование оптических характеристик и микрорельефа дифракционных структур, формируемых на плёнках металлов титановой группы методом прямой лазерной записи».

Почётное звание «**Заслуженный ветеран СО РАН**» присвоено сотрудникам ИАиЭ СО РАН: инженер-программист *А.Н. Ермаков*, вед. инженер-программист *С.А. Кузиковский*, вед. инженер-электроник *Д.О. Селюнин*, вед. инженер-программист *А.И. Тимошин*, вед. инженер-программист *А.И. Черепанов*, инженер-программист *В.И. Шагаева*, инженер-программист *Д.Ю. Шишкин*, инженер-программист *А.А. Янтимиров*.

Служба охраны труда ИАиЭ СО РАН и Профсоюзный комитет ИАиЭ СО РАН заняли III место в смотре-конкурсе по улучшению условий труда работающих в организациях ННЦ СО РАН 2020–2021 г. Конкурс был организован Общественной новосибирской региональной организацией «Профсоюз Сибирского отделения Российской академии наук».

6. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН в 2021 г.

6.1. МОНОГРАФИИ

1. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н. Атомно-эмиссионные спектрометры с азотной микроволновой плазмой: монография; Новосибирский гос. технический ун-т, Ин-т автоматике и электротетрии СО РАН, ООО «ВМК-Оптоэлектроника». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 210 с.: – 250 экз. – ISBN 978-5-7782-4449-8; Б.ц. УДК 681.785.5: 535.33.
2. In the book “Biometric Identification Technologies Based on Modern Data Mining Methods” / Edited by Stepan Bilan et al. Springer Nature, Switzerland AG. 2020. 227 p:
Vyatkin S., Romanyuk O. Глава VIII: Identification of persons using stereo image pairs and perturbation functions. – P. 119–133. DOI 10.1007/978-3-030-48378-4, <https://www.springer.com/gp/book/9783030483777>
3. In the book “BioArt Book: Teaching and subjects on bio-medical engineering, Approaches and experiences from the BIOART-project” (Leuven, Belgium. 2021):
Vyatkin S., Romanyuk O., Bezsmertnyi Yu. et al. Modeling and simulation of prosthetic gait using a 3D model based on perturbation functions. – P. 477–506. ISBN: 978-94-641-4245-7.
4. In the books “Current Trends in Communication and Information Technologies. IPF 2020” / ed. by Vorobiyenko P. et al.: Lecture Notes in Networks and Systems». – Springer. – 2021. – Vol. 212.
Vyatkin S.I., Romanyuk O.N., Chekhmestruk R.Y. et al. Comparison of Volume Rendering Methods Using GPU and Specialized Volumetric Accelerator. – P. 359–378. – https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_19.
5. In the book “Lecture Notes in Computer Science” (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2021. Vol. 12942 / 16th International conference on parallel computing technologies (PaCT 2021), Kaliningrad, September 13–18, 2021.
Zagorulko Y., Zagorulko G., Snytnikov A.V., Glinskiy B., Shestakov V. Information-analytical system to support the solution of compute-intensive problems of mathematical physics on supercomputers. – P. 434–444. – DOI 10.1007/978-3-030-86359-3_33.
6. In the book “Lecture Notes in Computer Science” (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2021. Vol. 12942 / 16th International conference on parallel computing technologies (PaCT 2021), Kaliningrad, September 13–18, 2021.
Zyubin V. E., Anureev I., Garanina N., Staroletov S., Rozov A.S., Liakh T.V. Event-driven temporal logic pattern for control software requirements specification. – P. 92–107. – DOI 10.1007/978-3-030-89247-0_7.
7. Wissenschaft fur den Modernen Menschen: Innovative Technik und Technologie, Informatik, sicherheitssysteme, verkehrsentwicklung, architektur: monografische reihe "Europaische Wissenschaft": buch. 4, teil. 4. – 2021. – kapitel 12.
Vyatkin S.I., Mykhaylov P.I., Romanyuk O.N., Romanyuk S.O., Korobeinikova T.I., Chekhmestruk R.Y. Path tracing method of functionally defined scenes. –

6.2. СТАТЬИ

Научные журналы

1. Алантьев Д.В., Борзов С.М., Жуков С.Н., Потатуркин О.И., Узилов С.Б., Чихонадских А.П. Оптико-электронная система обнаружения световозвращающихся объектов на основе зондирования импульсным лазерным излучением // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 92–101. – DOI 10.15372/AUT20210311.
2. Алантьев Д.В., Борзов С.М., Козик В.И., Потатуркин О.И., Узилов С.Б., Яминов К.Р. Экспериментальное исследование метода лазерной импульсной локации световозвращающихся объектов // Там же, № 1. – С. 103–111. – DOI 10.15372/AUT20210111.
3. Багинский И.Л. Предельная удельная мощность ёмкостных электростатических двигателей со структурой металл-тонкоплёночный сегнетоэлектрик // Там же, № 3. – С. 85–91. – DOI: 10.15372/AUT20210310.
4. Белоконь С.А., Деришев Д.С., Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С. Мобильный программно-аппаратный комплекс для проведения лётных экспериментов // Там же, № 4. – С. 10–16. – DOI 10.15372/AUT20210402.
5. Берёза А.С., Шапиро Д.А. Уточненное борновское приближение для рассеяния электромагнитной волны наночастицами // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 307–308. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-307-308.
6. Бехтерев А.В., Котков Р.В., Лабусов В.А., Лохтин Р.А., Пьянов Д.А., Строков И.И., Храмов М.С. DQE и eDQE цифровой рентгенографической системы сканирующего типа «КАРС»-БКС2 // Медицинская техника. – 2021. – № 3. – С. 39–43.
7. Бехтерев А.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н. Предприятию «ВМК-Оптоэлектроника» – 30 лет! // Аналитика и контроль. – 2021. – Т. 25. – № 4. – С. 258 – 261. (<http://dx.doi.org/10.15826/analitika.2021.25.4.001>)
8. Бударных А.Е., Лобач И.А., Каблуков С.И. Длинноволновый тулиевый самосканирующий лазер для задач спектроскопии диоксида углерода // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 132–133. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-132-133.
9. Бударных А.Е., Лобач И.А., Каблуков С.И. Тулиевый волоконный лазер с перестройкой области самосканирования в широком диапазоне // Там же. – С. 130–131. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-130-131.
10. Будников К.И., Курочкин А.В. Программное моделирование устройства обработки сетевого трафика в информационной системе // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 66–74. – DOI 10.15372/AUT20210308.
11. Булина Н.В., Титков А.И., Исаев Д.Д., Макарова С.В., Баев С.Г., Воробьев А.М., Бессмельцев В.П., Ляхов Н.З. Селективное лазерное плавление Zn-Si-замещенного гидроксипатита // Известия Академии наук. Сер. Химическая. – 2021. – № 9. – С. 1682–1689. – DOI 10.1007/s11172-021-3270-8.
12. Веревкин А.Е., Шапиро Д.А. Расчет плазмонного резонанса в квазистатическом приближении // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 299. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-299.

13. Владимирская А.Д., Камынин В.А., Лобач И.А., Каблуков С.И. Гольмиевый лазер с самосканированием длины волны в широком диапазоне и линейной поляризацией излучения // Там же. – № 7. – С. 12–13.
14. Воликова А.М., Смолянинов Н.Н., Лобач И.А., Каблуков С.И. Вибро-дальномер на основе волоконного лазера с самосканированием длины волны // Там же. – № 6. – С. 280–281. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-280-281.
15. Вольф А.А., Скворцов М.И., Достовалов А.В., Лабунцов В.И., Егорова О.Н., Семёнов С.Л., Бабин С.А. Пространственное селектирование мод в лазерах на основе многосердцевинных волоконных световодов // Там же. – С. 150–151. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-150-151.
16. Выухин В.Н. Измеритель малых токов с автономным питанием // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 4. – С. 152–153. – DOI: 10.31857/S0032816221040273.
17. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод визуализации мультиобъёмных данных и функционально заданных поверхностей с применением графических процессоров // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 32–40. – DOI 10.15372/AUT20210204.
18. Гаськов М.П., Смолянинов Н.Н., Распопин К.С., Тимиртдинов Ю.А., Лобач И.А., Шелемба И.С. Компактное устройство опроса волоконных брэгговских решеток // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 270–271. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-270-271.
19. Гибин И.С., Котляр П.Е. Гелий-графеновый оптико-акустический преобразователь предельной чувствительности // Прикладная физика. – 2021. – № 3. – С. 78–84. – DOI 10.51368/1996-0948-2021-3-78-84.
20. Гибин И.С., Котляр П.Е. Оптико-акустические приемники ИК- и ТГц-излучения с нанооптоэлектромеханическими элементами на основе однослойного графена // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 1. – С. 57–67. – DOI 10.15372/AUT20210107.
21. Гибин И.С., Котляр П.Е. От газового термометра до терагерцовой матрицы (обзор) // Успехи прикладной физики. – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 337–346. – DOI 10.51368/2307-4469-2021-9-4-337-346.
22. Горбунов О.А., Чуркин Д.В. О механизме влияния нелинейных взаимодействий на статистические свойства излучения волоконного ВКР-лазера // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 343–344. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-343-344.
23. Громилин Г.И., Косых В.П. Межкадровая обработка последовательности изображений, формируемых сканирующим ФПУ с пространственно-неравномерной чувствительностью // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 3–9. – DOI 10.15372/AUT20210301.
24. Деревянко Д.И., Пен Е.Ф., Шелковников В.В., Алиев С.И. Тонкослойные голографические фотополимерные материалы с большим изменением показателя преломления // Там же. № 6. – С. 29–37.
25. Держо М.А., Лаврентьев М.М., Шафаренко А.В. Магистерские образовательные программы в области интернета вещей // Успехи кибернетики. – 2021. – Т. 2, № 3. – С. 53–57. – DOI: 10.51790/2712-9942-2021-2-3-7.
26. Дзюба А.А., Додонов С.В., Лабусов В.А. Аналитические возможности спектрометра высокого разрешения «Гранд-2000» в дуговом атомно-эмиссионном

- анализе // Аналитика и контроль. – 2021. – Т. 25. – № 4. – С. 331–339. (<http://dx.doi.org/10.15826/analitika.2021.25.4.009>)
27. Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Брагин В.И. Модернизация системы обработки и отображения визуальной информации для эффективного контроля и управления тренировочным процессом в условиях расширенного информационного потока // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 3. – С. 61–65. – DOI 10.34131/MSF.21.3.61-65.
 28. Достовалов А.В., Симонов В.А., Окотруб К.А., Вольф А.А., Немов И.Н., Скворцов М.И., Коробейников М.В., Брызгин А.А., Михайленко М.А., Бабин С.А. Исследование воздействия β -излучения на волоконные брэгговские решетки, записанные фемтосекундным лазерным излучением // Прикладная фотоника. – 2021. – Т. 8, № 2. С. 5–18. – DOI 10.15593/2411-4367/2021.2.01.
 29. Дробышев Р.В., Поддубровский Н.Р., Лобач И.А., Каблуков С.И. Самосканирующий иттербиевый волоконный лазер с генерацией одночастотных миллисекундных импульсов // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 138–139. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-138-139.
 30. Ефремов В.Д., Евменова Е.А., Антропов А.А., Харенко Д.С. Численное моделирование волоконного оптического параметрического генератора на основе фотонно-кристаллического волокна // Там же. – С. 120–121. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-120-121.
 31. Заболотский А.А. Солитоны в хиральной среде // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2021. – Т. 159, вып. 3. – С. 424–433. – DOI: 10.31857/S0044451021030044.
 32. Завьялов П.С., Власов Е.В., Солдатенко А.В., Завьялова М.А., Бартош В.С. Разработка оптических схем формирования комфортной визуальной обстановки в области тренажеростроения // Фотоника. – 2021. – Т. 15, № 6. – С. 526–540. – DOI 10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.6.526.539.
 33. Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Ян А.П. Управление вектором скорости летательного аппарата // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 3–9. – DOI 10.15372/AUT20210401.
 34. Калмыков Н.И., Коваленко Д.А., Лобач И.А. Влияние спонтанного излучения на форму сигналов в распределенном волоконном датчике температуры на основе комбинационного рассеяния света // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 353–354. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-353-354.
 35. Калмыков Н.И., Коваленко Д.А., Лобач И.А., Каблуков С.И. Искажение формы рефлектограммы в распределенных волоконных системах при наличии спонтанного шума в зондирующем излучении // Квантовая электроника. – 2021. – Т. 51, № 12. – С. 1107–1112. – DOI 10.1070/QEL17661.
 36. Камынин В.А., Вольф А.А., Скворцов М.И., Филатова С.А., Копьева М.С., Цветков В.Б., Бабин С.А. Распределенное измерение температуры в непрерывных гольмиевых волоконных лазерах // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 347–348. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-347-348.
 37. Кирьянов В.П., Бобков А.В., Гурин Н.А., Зотов А.А., Каракоцкий А.Г., Кирьянов А.В. Предварительно программируемая фокусировка микрообъектива углоизмерительной установки // Оптический журнал. – 2021. – Т. 88, № 5. – С. 76–81. – DOI 10.17586/1023-5086-2021-88-05-76-81.

38. Кирьянов А.В., Кирьянов В.П. Применение согласованных комплементарных фильтров в гониометрии // *Автометрия*. – 2021. – т. 57, № 6. – С. 49–59. – DOI 10.15372/AUT20210605.
39. Козик В.И., Нежевенко Е.С. Классификация гиперспектральных изображений с помощью свёрточных нейронных сетей // *Там же*, № 2. – С. 13–21. – DOI 10.15372/AUT20210202.
40. Котов К.Ю., Мальцев А.С., Пришляк Е.Е., Соболев М.А. Комплекс группового управления беспилотными аппаратами // *Вычислительные технологии*. – 2021. – Т. 26, № 1. – С. 99–111. – DOI: 10.25743/ICT.2021.26.1.008.
41. Кугаевских А.В. Новая модель нейрона конца линий, применимая в свёрточных нейронных сетях // *Вестник НГУ. Сер. Информационные технологии*. – 2021. – Т. 19, № 3. – С. 50–60. – DOI 10.25205/1818-7900-2021-19-3-50-60.
42. Кузнецов А.Г., Каблуков С.И., Подивилов Е.В., Бабин С.А. Исследование пространственных характеристик выходного пучка ВКР-лазера с многомодовой диодной накачкой // *Фотон-экспресс*. – 2021. – № 6. – С. 400–401. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-400-401.
43. Кузнецов А.Г., Каблуков С.И., Подивилов Е.В., Бабин С.А. Исследование пространственных характеристик выходного пучка каскадного ВКР-лазера с многомодовой диодной накачкой // *Квантовая электроника*. – 2021. – Т. 51, № 12. – С. 1090–1095. – DOI 10.1070/QEL17657.
44. Купцов А.В., Волженин А.В., Лабусов В.А., Сапрыкин А.И. Использование альтернативных способов ввода проб в плазму при анализе металлов и сплавов методом атомно-эмиссионной спектроскопии на двухструйном дуговом плазмотроне // *Сборник работ химиков-аналитиков «К 100-летию юбилею И.Г. Юделевича*. Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2020. – С. 40–44.
45. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Гаранин В.Г. Спектрометры с анализаторами МАЭС на основе новых линеек фотодетекторов // *Аналитика и контроль*. – 2021. – Т. 25. – № 4. – С. 262–272. – DOI 10.15826/analitika.2021.25.4.002.
46. Лаврентьев М.М., Лысаков К.Ф., Марчук А.Г., Облаухов К.К. Ускорение расчетов распространения волны цунами с использованием FPGA // *Успехи кибернетики*. – 2021. – Т. 2, № 1. – С. 14–25. – DOI: 10.51790/2712-9942-2021-2-1-2.
47. Лаврентьев М.М., Шадрин М.Ю., Таранцев И.Г. Опыт совместной разработки сложных программно-аппаратных систем обработки больших потоков данных // *Там же*, № 2. – С. 90–95. – DOI: 10.51790/2712-9942-2021-2-2-8.
48. Лихачев А., Табанюхова М.В. Оценка расстояния от заданной точки до максимума интерференционной полосы // *Автометрия*. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 30–38. – DOI: 10.15372/AUT20210304.
49. Лубков А.А., Котов В.Н., Перебейнос С.В., Зотов А.А. Генератор высоковольтных биполярных импульсов // *Приборы и техника эксперимента*. – 2021. – № 5. – С. 57–66. – DOI 10.31857/S0032816221050098.
50. Мамрашев А.А., Чаповский П.Л. Ускорение конверсии ядерных спиновых изомеров молекул воды при их колебательном возбуждении // *Письма в ЖЭТФ*. – 2021. – Т. 114, № 9/10. – С. 699–703. – DOI: 10.31857/S1234567821220122.
51. Никифоров А.Г., Демьянов Б.Ф., Никифоров Д.А., Левичев А.Е., Микерин С.Л., Кучьянов, А.С., Старостенков М.Д. Особенности структуры поверх-

- ности фотокатода CeI_g // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 129–134. – DOI: 10.25712/ASTU.1811-1416.2021.01.018.
52. Никифоров А.Г., Демьянов Б.Ф., Старостенков М.Д., Никифоров Д.А., Левицев А.Е., Микерин С.Л., Кучьянов А.С., Логинова М.В., Агейкова Л.Н. Фазовая структура фотокатода I_g-16,7 ат.% Се // *Там же*, № 3. – С. 311–318. – DOI: 10.25712/ASTU.1811-1416.2021.03.008.
 53. Новоселов А.Р., Алдохин П.А., Добровольский П.П., Маточкин А.Е. Исследование разрушения гибридных фотоприемников инфракрасного диапазона при многократных циклах охлаждения до температуры жидкого азота интерференционным методом // *Оптический журнал*. – 2021. – Т. 88, вып. 1. – С. 69–75. – DOI 10.17586/1023-5086-2021-88-01-69-75.
 54. Носов Д.А., Сизиков И.С. Автоматическое выставление вертикали абсолютного гравиметра методом регистрации смещения измерительного луча // *Сейсмические приборы*. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 41–51. – DOI: 10.21455/si2021.3-4.
 55. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Влияние столкновений на спектр резонансной флуоресценции трехуровневых атомов с V-конфигурацией уровней // *Оптика и спектроскопия*. – 2021. – Т. 129, № 9. – С. 1099–1110. – DOI: 10.21883/OS.2021.09.51333.201-21.
 56. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. О возможности безынервного усиления и генерации излучения двухуровневой системой в «красном» крыле ее спектральной линии при резонансной диодной накачке // *Квантовая Электроника*. – 2021. – Т. 51, № 10. – С. 915–919. – DOI: 10.1070/QEL17633.
 57. Поддубровский Н.Р., Лобач И.А., Каблуков С.И. Волоконный эрбиевый самосканирующий лазер с кольцевым резонатором // *Фотон-экспресс*. – 2021. – № 7. – С. 14–15.
 58. Свитов Д.В., Алямкин С.А. Оптимизация нейросетевого детектора движущихся объектов // *Автометрия*. – 2021. – Т. 57, № 1. – С. 21–30. – DOI 10.15372/AUT20210103.
 59. Симонов В.А., Терентьев В.С. Интерферометр Маха-Цандера на основе утоненного волокна для измерения показателя преломления жидкости // *Фотон-экспресс*. – 2021. – № 6. – С. 276–277. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-276-277.
 60. Скворцов М.И., Абдуллина С.Р., Вольф А.А., Достовалов А.В., Чуринов А.Е., Егорова О.Н., Семенов С.Л., Проскурина К.В., Бабин С.А. Одночастотный эрбиевый лазер со случайной распределенной обратной связью на основе неупорядоченных структур, созданных фемтосекундным лазерным излучением // *Квантовая электроника*. – 2021. – Т. 51, № 12. – С. 1051–1055. – DOI 10.1070/QEL17650.
 61. Скворцов М.И., Вольф А.А., Достовалов А.В., Власов А.А., Егорова О.Н., Семенов С.Л., Бабин С.А. Узкополосный эрбиевый лазер со случайной распределенной обратной связью на основе неупорядоченных 1-мерных структур, созданных фемтосекундным лазерным излучением // *Фотон-экспресс*. – 2021. – № 6. – С. 102–103. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-102-103.

62. Смолянинов Н.Н., Ткаченко А.Ю., Лобач И.А., Каблуков С.И. Модуль обработки оптических сигналов с устройств на основе волоконного лазера с самосканированием частоты // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 2. – С. 76–82. – DOI: 10.31857/S0032816221020099.
63. Снытников А.В., Лазарева Г.Г. Алгоритмы решения задач механики сплошной среды для эксафлопсных систем // Вычислительные технологии. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 81–94. – DOI: 10.25743/ICT.2021.26.5.007.
64. Терентьев В.С., Симонов В.А. Аналитическое описание спектральных характеристик сенсора коэффициента преломления на основе отражательного интерферометра // Оптика и спектроскопия. – 2021. – Т. 129, № 8. – С. 1089–1096. – DOI 10.21883/OS.2021.08.51207.1932-21.
65. Терентьев В.С., Симонов В.А. Спектральные характеристики наклонного отражательного интерферометра как сенсора показателя преломления // Там же, № 2. – С. 238–244. – DOI 10.21883/OS.2021.02.50564.232-20.
66. Терентьев В.С., Симонов В.А. Угловые характеристики сенсора коэффициента преломления на основе отражательного интерферометра // Там же, № 10. – С. 1325–1330. – DOI 10.21883/OS.2021.10.51500.2186-21.
67. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Носов Д.А., Сизиков И.С., Тимофеев А.В., Бойко Е.В., Калиш Е.Н., Стусь Ю.Ф. Измерение современных движений методами абсолютной гравиметрии и космической геодезии на месторождениях заполярной части Западной Сибири // Сейсмические приборы. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 23–42. – DOI: 10.21455/si2021.2-2.
68. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Бойко Е.В., Валитов М.Г., Калиш Е.Н., Стусь Ю.Ф., Носов Д.А., Сизиков И.С. Некоторые особенности современных техногенных движений земной коры // Геодинамика и тектонофизика. – 2021. – Т. 12, № S3. – С. 776–791. – DOI: 10.5800/GT-2021-12-3s-0554.
69. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Горнов П.Ю., Стусь Ю.Ф., Семибаламут В.М. Вариации объемной деформации и уровня воды в скважинах, их влияния на результаты гравиметрических измерений // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 40–51. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-40-51.
70. Томилин В.А., Ильичев Л.В. Гибридная атомарно-оптическая квантовая гиромерия // Письма в ЖЭТФ. – 2021. – Т. 113, № 3/4. – С. 212–217. – DOI 10.31857/S1234567821030101.
71. Уткин Д. Е., Царёв А.В., Уткин Е.Н., Латышев А.В., Шкляев А.А. Широкополосные просветляющие покрытия из частиц SiGe субволнового размера // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 5. – С. 58–69. – DOI 10.15372/AUT20210507.
72. Федотов М.Ю. Некоторые аспекты практического применения волоконно-оптических систем мониторинга инженерных конструкций // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 33–42.
73. Харенко Д.С., Гервазиев М.Д., Волоси В.М., Кузнецов А.Г., Подивилов Е.В., Вабниц С., Бабин С.А. Применение метода модовой декомпозиции к излучению ВКР-лазера на основе градиентного световода с прямой диодной накачкой // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 157–158. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-157-158.
74. Шакенов А.К. Селекция особых точек, устойчивых к размытию и геометрическим искажениям изображений // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 6. – С. 82–89. – DOI: 10.15372/AUT20210609.

75. Шакенов А.К. Сравнение детекторов особых точек изображений и оценка их статистических характеристик // Там же, № 1. – С. 11–20. – DOI: 10.15372/AUT20210102.
76. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Подавление нелинейных искажений в высокоскоростной многоканальной линии связи с переменной квадратичной компенсацией дисперсии // Квантовая электроника. – 2021. – Т. 51, № 7. – С. 635–638. – DOI 10.1070/QEL17571.
77. Шелковников В.В., Микерин С.Л., Симанчук А.Э., Чубаков П.А., Коротаев С.В., Орлова Н.А., Бережная В.Н., Каргаполова И.Ю., Максимов А.М., Ищенко Р.А., Рязанов Н.Д. Нелинейно-оптические свойства полифтортрифенилпиразолин-дицианоизофороновых красителей в матрице поликарбоната // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 6. – С. 60–66. – DOI: 10.15372/AUT20210606.
78. Шестаков В.А., Гудыма Т.С., Крутский Ю.Л., Уваров Н.Ф., Брестер А.Е., Сквородин И.Н. Оценка температурного диапазона процессов синтеза порошковых композиционных материалов В4С–TiB2 и В4С–ZrB2 // Неорганические материалы. – 2021. – Vol. 57, № 5. – P. 506–511. – DOI: 10.31857/S0002337X21050080.
79. Штырина О.В., Подивилов Е.В., Скидин А.С., Яруткина И.А., Лобасенко Р.Б., Федорук М.П. Анализ семейства диссипативных солитонов уравнения Гинзбурга–Ландау с учетом насыщения усиления и мощности // Фотон-экспресс. – 2021. – № 6. – С. 398–399. – DOI 10.24412/2308-6920-2021-6-398-399.
80. Abalmasov V.A. Dipole ordering of water molecules in cordierite: Monte Carlo simulations // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2021. – Vol. 33, is. 34. – P. 34LT01. – DOI 10.1088/1361-648X/ac06f0.
81. Abalmasov V.A. Ferroelectric polarization reversal versus pump spot shape // Physical Review B. – 2021. – Vol. 104, is. 14. – P. A74. – DOI 10.1103/PhysRevB.104.L140102.
82. Adichtchev S.V., Okotrub K.A., Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Surovtsev N.V. Raman Spectroscopic Study of Phase Coexistence in Binary Phospholipid Bilayers // Applied Spectroscopy. – 2021. – Vol. 75, is. 1. – P. 87–93. – DOI 10.1177/0003702820945764.
83. Adichtchev S.V., Surovtsev N.V. Temperature dependence of elastic properties of the phospholipid vesicles in aqueous suspension probed by Brillouin spectroscopy // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2021. – Vol. 33, is. 49. – P. 495102. – DOI 10.1088/1361-648X/ac2690.
84. Agafontsev D.S., Gelash A.A. Rogue Waves With Rational Profiles in Unstable Condensate and Its Solitonic Model // Frontiers in Physics. – 2021. – Vol. 9. – P. 610896. – DOI 10.3389/fphy.2021.610896.
85. Alyabyeva L.N., Prokhorov A.S., Vinnik S.A., Anzin V.B., Ahmed A.G., Mikheykin A., Bednyakov P., Kadlec C., Kadlec F., Prado E. de, Prokleska J., Proschek P., Kamba S., Pronin A.V., Dressel M., Abalmasov V.A., Dremov V.V., Schmid S., Savinov M., Lunkenheimer P., Gorshunov B.P. Lead-substituted barium hexaferrite for tunable terahertz optoelectronics // NPG Asia Materials. – 2021. – Vol. 13. – P. 63. – DOI 10.1038/s41427-021-00331-x.
86. Apolonski A.A., Maiti K.S. Towards a standard operating procedure for revealing hidden volatile organic compounds in breath: the Fourier-transform IR spectroscopy

- case // *Applied optics*. – 2021. – Vol. 60, is. 14. – P. 4217–4224. – DOI 10.1364/AO.421994.
87. Ashikbayeva Z., Aitkulov A., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Amantayeva A., Kurbanova A., Inglezakis V.J., Tosi D. Investigation of thermal effects of radiofrequency ablation mediated with iron oxide nanoparticles dispersed in agarose and chitosan solvents // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, Is. 5. – P. 2437 DOI 10.3390/app11052437.
 88. Atutov S.N., Sorokin V.A. Effects of size and dimension in optic relaxation in Rb vapor // *Journal of physics: conference series*. – 2021. – Vol. 2067: The IX International symposium "Modern problems of laser physics" (MPLP 2021), 9 August 22-29, 2021, Novosibirsk. – P. 012004 (5 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/2067/1/012004.
 89. Babin S.A., Kuznetsov A.G., Sidelnikov O.S., Wolf A.A., Nemov I.N., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Wabnitz S. Spatio-spectral beam control in multimode diode-pumped Raman fibre lasers via intracavity filtering and Kerr cleaning // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11, is. 1. – P. 21994. – DOI 10.1038/s41598-021-01491-0.
 90. Belousov D.A., Bronnikov K.A., Okotrub K.A., Mikerin S.L., Korolkov V.P., Terentyev V.S., Dostovalov A.V. Thermochemical laser-induced periodic surface structures formation by femtosecond laser on Hf thin films in air and vacuum // *Materials*. – 2021. – Vol. 14, is. 21. – Paper. 6714. – P. 1–16. – DOI 10.3390/ma14216714.
 91. Bessmeltsev V.P., Katasonov D.N., Goloshevsky N.V., Baev S.G. Method of Forming Microchannels On the Surface Of a Glass Substrate // *Materials Science Forum*. – 2021. – Vol. 1031. – P. 141–146. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.1031.141.
 92. Bogdanov S.A., Frumin L.L. Soliton orthogonal frequency division multiplexing with phase-frequency coding on the base of inverse scattering transform // *Journal of inverse and ill-posed problems*. – 2021. – Vol. 29, is. 4. – P. 629–634. – DOI 10.1515/jiip-2020-0128.
 93. Bronnikov K.A., Arriaga J., Krokhin A., Drachev V.P. Sub-Diffraction-Limit Imaging System with two Interfacing Hyperbolic Metamaterials // *Physical Review Applied*. – 2021. – Vol. 16, is. 4. – P. 044054. – DOI 10.1103/PhysRevApplied.16.044054.
 94. Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Terentyev V.S., Babin S.A., Kozlov A., Pustovalov E., Gurevich E.L., Zhizhchenko A., Kuchmizhak A. Uniform subwavelength high-aspect ratio nanogratings on metal-protected bulk silicon produced by laser-induced periodic surface structuring // *Applied physics letters*. – 2021. – Vol. 119, is. 21. – P. 211106 (7 p.). – DOI 10.1063/5.0075045.
 95. Bulina N.V., Baev S.G., Makarova S.V., Vorobyev A.M., Titkov A.I., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Selective Laser Melting of Hydroxyapatite: Perspectives for 3D Printing of Bioresorbable Ceramic Implants // *Materials*. – 2021. – Vol. 14, is. 18. – P. 5425. – DOI 10.3390/ma14185425.
 96. Bulina N.V., Makarova S.V., Baev S.G., Matvienko A.A., Gerasimov K.B., Logutenko O.A., Bystrov V.S. A study of thermal stability of hydroxyapatite // *Minerals*. – 2021. – Vol. 11, is. 12. – P. 1310 (15 p.). – DOI 10.3390/min11121310.
 97. Bulina N.V., Titkov A.I., Baev S.G., Makarova S.V., Khusnutdinov R., Bessmeltsev V.P., Lyakhov N.Z. Laser sintering of hydroxyapatite for potential fabrication of

- bioceramic scaffolds // *Materials today: proceedings*. – 2021. – Vol. 37, part 4. – P. 4022–4026. – DOI 10.1016/j.matpr.2020.06.199.
98. Chapovsky P.L. Water ortho-para conversion by microwave background radiation in space // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2021. – Vol. 503, is. 2. – P. 1773–1779. – DOI 10.1093/mnras/stab407.
 99. Chapovsky P.L., Mamrashev A.A. Nuclear spin conversion in H₂O revisited // *Physical review A*. – 2021. – Vol. 104. – P. 052816 (7 pp.). – DOI 10.1103/PhysRevA.104.052816.
 100. Chekhmestruk R.Y., Mykhaylov P.I., Vyatkin S.I. Method for calculating the reflection function of global illumination with perturbation functions // *Herald of Advanced Information Technology*. – 2021. – Vol. 4, № 1. – P. 47–56. – DOI 10.15276/hait.01.2021.4.
 101. Chen Y., Fan C., Yao T., Xiao H., Leng J., Zhou P., Nemov I.N., Kuznetsov A.G., Babin S.A. Brightness enhancement in random Raman fiber laser based on a graded-index fiber with high-power multimode pumping // *Optics letters*. – 2021. – Vol. 46, Is. 5. – P. 1185–1188. – DOI 10.1364/OL.416740.
 102. Churin A.E., Nemov I.N., Skvortsov M.I. Glue independent FBG sensor with enhanced stability // *Optical Fiber Technology*. – 2021. – Vol. 64. – P. 102533. – DOI 10.1016/j.yofte.2021.102533.
 103. Drobyshev R.V., Poddubrovskii N.R., Lobach I.A., Kablukov S.I. High-resolution spectral analysis of long single-frequency pulses generated by a self-sweeping Yb-doped fiber laser // *Laser physics letters*. – 2021. – Vol. 18, № 8. – P. 085102. – DOI 10.1088/1612-202X/ac0449.
 104. Efremov V.D., Antropov A.A., Evmenova E.A., Kharenko D.S. Numerical simulation of the picosecond fiber optical parametric oscillator based on a PCF // *Там же*. – Vol. 11905: Quantum and nonlinear optics VIII. – P. 119051L (7 p.). – DOI 10.1117/12.2601314.
 105. Erofeev V.I. Beginnings of developing kinetic scenarios of plasma evolution due to coulomb collisions // *Plasma*. – 2021. – Vol. 4, is. 2. – P. 252–268. – DOI 10.3390/plasma4020017.
 106. Ezhov D., Turgeneva S., Nikolaev N., Mamrashev A., Mikerin S., Minakov F., Simanchuk A., Antsygin V., Svetlichnyi V., Losev V., Andreev Y. Potential of sub-THz-wave generation in Li₂B₄O₇ nonlinear crystal at room and cryogenic temperatures // *Crystals*. – 2021. – Vol. 11, is. 11. – P. 1321 (9 p.). – DOI 10.3390/cryst11111321.
 107. Fan C., Chen Y., Yao T., Xiao H., Xu J., Leng J., Zhou P., Wolf A.A., Nemov I.N., Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Babin S.A. Over 400 W graded-index fiber Raman laser with brightness enhancement // *Optics Express*. – 2021. – Vol. 29, is. 13. – P. 19441–19449. – DOI 10.1364/OE.427605.
 108. Frumin L.L. Algorithms for solving scattering problems for the Manakov model of nonlinear Schrodinger equations // *Journal of inverse and ill-posed problems*. – 2021. – Vol. 29, is. 3. – P. 369–383. – DOI 10.1515/jiip-2020-0126.
 109. Gateva S., Tsvetkov S., Todorov G., Gozzini S., Nasyrov K.A., Andreeva C., Cartaleva S. Coherent magneto-optical resonances in hot potassium vapor // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1859, is. 1: 21st International Conference and School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications, ICSQE 2020;

- Virtual, Online; 21–25 September, 2020. – P. 012022. – DOI 10.1088/1742-6596/1859/1/012022.
110. Gelash A., Agafontsev D., Suret P., Randoux S. Solitonic model of the condensate // *Physical Review E*. – 2021. – Vol. 104, № 4. – P. 044213. – DOI 10.1103/PhysRevE.104.044213.
 111. Gelin M.F., Blokhin A.P., Ostrozhenkova E., Apolonski A.A., Maiti K.S. Theory helps experiment to reveal VOCs in human breath // *Spectrochimica Acta. Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2021. – Vol. 258. – P. 119785 (6 p.). – DOI 10.1016/j.saa.2021.119785.
 112. Gervaziev M.D., Zhdanov I.S., Kharenko D.S., Gonta V.A., Babin S.A., Volosi V., Podivilov E.V., Wabnitz S. Mode decomposition of multimode optical fiber beams by phase-only spatial light modulator // *Laser physics letters*. – 2021. – Vol. 18, № 1. – P. 015101. – DOI 10.1088/1612-202X/abcf27.
 113. Gibin I.S., Kotlyar P.E. Experimental Dynamics of Temperature-Initiated Metal–Insulator Transition in Vanadium Dioxide // *Journal of Communications Technology and Electronics*. – 2021. – Vol. 66, № 3. – P. 340–347. – DOI 10.1134/S1064226921030050.
 114. Gribanov A.V., Nikolaev G.N., Mosin M., Yakovin D.V., Yakovin M.D. Fluorescence quantum efficiency of $Ti^{3+}:Al_2O_3$ at cryogenic temperatures and excitation by laser diodes // *Journal of physics: conference series*. – 2021. – Vol. 2067: The IX International Symposium "Modern problems of laser physics" (MPLP 2021), August 22–29, 2021, Novosibirsk. – P. 012010 (5 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/2067/1/012010.
 115. Gromilin G.I., Yakovenko N.S. A Method for Assessing the Pupil Center Coordinates in Eyetracking with a Free Head Position // *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*. – 2021. – Vol. 7, № 3. – P. 030302. – DOI 10.18287/JBPE21.07.030302.
 116. Igonina T. N., Okotrub K.A., Brusentsev E.Y., Chuyko E.A., Ragaeva D.S., Ranneva S.V., Amstislavsky S.Y. Alteration of the lipid phase transition during mouse embryos freezing after in vitro culture with linoleic acid // *Cryobiology*. – 2021. – Vol. 99. – P. 55–63. – DOI 10.1016/j.cryobiol.2021.01.014.
 117. Impellizzeri A., Vorfolomeeva A.A., Surovtsev N.V., Okotrub A.V., Ewels C.P., Rybkovskiy D.V. Simulated Raman spectra of bulk and low-dimensional phosphorus allotropes // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2021. – Vol. 23, is. 31. – P. 16611–16622. – DOI: 10.1039/d1cp02636d.
 118. Kamynin V., Wolf A., Skvortsov M., Filatova S., Kopyeva M., Vlasov A., Tsvetkov V., Babin S. Distributed Temperature Monitoring Inside Ytterbium DFB and Holmium Fiber Lasers // *Journal of Lightwave Technology*. – 2021. – Vol. 39, is. 18. – P. 5980–5987. – DOI 10.1109/JLT.2021.3095396.
 119. Kokh K.A., Atuchin V.V., Adichtchev S.V., Gavrilova T.A., Bakhadur A.M., Klimov A.O., Korolkov I.V., Kuratieva N.V., Mukherjee S., Pervukhina N.V., Surovtsev N.V. Cu_2ZnSnS_4 crystal growth using an $SnCl_2$ based flux // *CrystEngComm*. – 2021. – Vol. 23, is. 4. – P. 1025–1032. – DOI: 10.1039/d0ce01264e.
 120. Kokhanovskiy A., Shabalov N., Dostovalov A.V., Wolf A.A. Highly Dense FBG Temperature Sensor Assisted with Deep Learning Algorithms // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21, is. 18. – P. 6188. – DOI 10.3390/s21186188.

121. Komarov A.K., Komarov K.P., Meshcheriakov D.V., Dmitriev A., Zhao L. Noise-like pulses with an extremely broadband spectrum in passively mode-locked fiber lasers // *JOSA B*. – 2021. – Vol. 38, is. 3. – P. 961–967. – DOI 10.1364/JOSAB.414369.
122. Korganbayev S., Orrico A., Bianchi L., Paloschi D., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Saccomandi P. PID controlling approach based on FBG array measurements for laser ablation of pancreas tissues // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 2021. – Vol. 70. – P. 7006409. – DOI 10.1109/TIM.2021.3112790.
123. Kruchinina M.V., Gromov A.G., Kruchinin V.N., Generalov V.M., Nikolaev N.A., Antsygin V.D., Minin I.V., Minin O.V. Investigation of red blood cells from patients with diffuse liver diseases by combined dielectrophoresis and terahertz spectroscopy method // *Optical Engineering*. – 2021. – Vol. 60, is. 8. – P. 082003 (10 p.). – DOI 10.1117/1.OE.60.8.082003.
124. Kuptsov A.V., Medvedev N.S., Lundovskaya O.V., Saprykin A.I., Labusov V.A. Direct analysis of tellurium solid samples with a two-jet arc plasma using electrothermal vaporization // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. – 2021. – Vol. 36, is. 12. – P. 2669–2674. – DOI 10.1039/d1ja00286d.
125. Kuptsov A.V., Volzhenin A.V., Labusov V.A., Saprykin A.I. Atomic emission spectrometry analysis of metals and alloys using a two-jet arc plasma with spark sampling and calibration by solutions // *Там же*. – P. 829–835. – DOI 10.1039/d0ja00429d.
126. Kuptsov A.V., Volzhenin A.V., Labusov V.A., Saprykin A.I. Optimization of operational parameters for the analysis of metals and alloys by atomic emission spectrometry on a two-jet arc plasmatron using spark ablation // *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. – 2021. – Vol. 177. – P. 106047 (3 p.). – DOI 10.1016/j.sab.2020.106047.
127. Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Brightness enhancement and beam profiles in an LD-pumped graded-index fiber Raman laser // *OSA Continuum*. – 2021. – Vol. 4, is. 3. – P. 1034–1040. – DOI 10.1364/OSAC.421985.
128. Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Evmenova E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Cascaded generation in multimode diode-pumped graded-index fiber raman lasers // *Photonics*. – 2021. – Vol. 8, is. 10. – P. 447. – DOI 10.3390/photonics8100447.
129. Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Multimode LD-pumped all-fiber Raman laser with excellent quality of 2nd-order Stokes output beam at 1019 nm // *Optics Express*. – 2021. – Vol. 29, is. 11. – P. 17573–17580. – DOI 10.1364/OE.425639.
130. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk A., Oblaukhov K.K., Shadrin M.Yu. Algorithmic design of an FPGA-based calculator for fast evaluation of tsunami wave danger // *Algorithms*. – 2021. – Vol. 14, is. 12. – P. 343 (13 p.). – DOI 10.3390/a14120343.
131. Lavrentiev M.M., Lysakov K.F., Marchuk An.G., Oblaukhov K.K., Shadrin M.Yu. FPGA based tsunami wave propagation calculator // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1789: The 9th International Conference on Engineering Mathematics and Physics, 1–4 July, 2020, Istanbul, Turkey. – P. 012011. – DOI 10.1088/1742-6596/1789/1/012011.

132. Lavrentiev M.M., Marchuk An.G. Fast Modelling of Tsunami Wave Propagation at PC by Hardware Computer Code Acceleration // *Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics.* – 2021. – Vol. 14, is. 4. – P. 433–444. – DOI 10.17516/1997-1397-2021-14-4-433-444.
133. Lester C., Gelash A.A., Zakharov D., Zakharov V. Lump chains in the KP-I equation // *Studies in Applied Mathematics.* – 2021. – Vol. 147, is. 4. – P. 1425–1442. – DOI 10.1111/sapm.12420.
134. Maiti K.S., Apolonski A.A. Monitoring the Reaction of the Body State to Antibiotic Treatment against *Helicobacter pylori* via Infrared Spectroscopy: A Case Study // *Molecules.* – 2021. – Vol. 26, is. 11. – P. 3474 (11 p.). – DOI 10.3390/molecules26113474.
135. Maiti K.S., Fill E., Strittmatter F., Volz Y., Sroka R., Apolonski A.A. Towards reliable diagnostics of prostate cancer via breath // *Scientific Reports.* – 2021. – Vol. 11, is. 1. – P. 18381 (11 p.). – DOI: 10.1038/s41598-021-96845-z.
136. Maiti K.S., Roy S., Lampe R., Apolonski A. Detection of disease-specific volatile organic compounds using infrared spectroscopy // *Engineering Proc.* 2021. – Vol. 8, is. 1. – Paper 15 (5 p.). – DOI: 10.3390/engproc2021008015.
137. Malinovsky V.K., Pugachev A.M., Surovtsev N.V. Nanometer structure as a key to various phenomena in ferroelectrics // *Ferroelectrics.* – 2021. – Vol. 575, is. 1. – P. 37–42. – DOI 10.1080/00150193.2021.1888224.
138. Mamrashev A.A., Minakov F.A., Nikolaev N.A., Antsygin V.D. Terahertz time-domain polarimetry for principal optical axes of anisotropic crystals // *Photonics.* – 2021. – Vol. 8, is. 6. – P. 213. – DOI 10.3390/photonics8060213.
139. Mangini F., Ferraro M., Zitelli M., Niang A., Mansuryan T., Tonello A., Couderc V., De Luca A., Babin S.A., Frezza F., Wabnitz S. Helical plasma filaments from the self-channeling of intense femtosecond laser pulses in optical fibers // *Opt. Lett.* – 2021 (published online): DOI: 10.1364/OL.445321.
140. Meng Y., Zhang D., Semaan G., Kemel M., Nady A., Salhi M., Komarov A.K., Sanchez F. Optical domains in fiber lasers // *Journal of Optics.* – 2021. – Vol. 23, № 3. – P. 035502 (6 p.). – DOI 10.1088/2040-8986/abdf32.
141. Mullyadzhyanov R., Gelash A.A. Solitons in a box-shaped wave field with noise: perturbation theory and statistics // *Physical review letters.* – 2021. – Vol. 126. – P. 234101. – DOI 10.1103/PhysRevLett.126.234101.
142. Nemova E.A., Dultseva G.G., Nikolaev N.A., Cherkasova O.P. Effect of terahertz radiation on intermolecular interactions of albumin under aerobic and anaerobic conditions // *Journal of physics: conference series.* – 2021. – Vol. 2067: The IX International symposium "Modern problems of laser physics" (MPLP 2021) (Novosibirsk, Russia, August 22–29, 2021). – P. 012015 (6 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/2067/1/012015.
143. Nguyen Q.D., Shakhno E.A., Sinev D.A., Zakoldaev R.A., Veiko V.P. Forming microstructures of certain transparency on thin titanium films by laser thermochemical method // *Там же.* – Vol. 1822, is. 1: 8th International Conference Modern Nanotechnologies and Nanophotonics for Science and Industry, MNNSI 2020 (Suzdal, Virtual; Russia, November 9–20, 2020). – P. 012006. – DOI: 10.1088/1742-6596/1822/1/012006.
144. Nikolaev G.N., Mikerin S.L. Theoretical bases of combined nonlinear optical demodulator-amplifier for broadband microwave photonics systems // *IOP Journal of*

- Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2067. – Paper 012018 (7 p.). – DOI: 10.1088/1742-6596/2067/1/012018.
145. Nikolaev N. A., Mamrashev A.A., Antsygin V.D., Ezhov D.M., Lubenko D.M., Svetlichnyi V. A., Andreev Yu. M., Losev V. F. Millimetre-wave range optical properties of BIBO // *Journal of physics : conference series*. – 2021. – Vol. 2067: The IX International Symposium "Modern problems of laser physics" (MPLP 2021), August 22–29, 2021, Novosibirsk, Russia. – P. 012011 (5 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/2067/1/012011.
 146. Novikova E.D., Vorotnikov Y.A., Nikolaev N.A., Tsygankova A.R., Shestopalov M.A., Efremova O.A. The role of gold nanoparticles' aspect ratio in plasmon-enhanced luminescence and the singlet oxygen generation rate of Mo-6 clusters // *Chemical Communications*. – 2021. – Vol. 57, is. 63. – P. 7770–7773. – DOI 10.1039/d1cc03347f.
 147. Novikova E.D., Vorotnikov Y.A., Nikolaev N.A., Tsygankova A.R., Shestopalov M.A., Efremova O.A. Synergetic effect of Mo₆ clusters and gold nanoparticles on photophysical properties of both components // *Chemistry – A European Journal*. – 2021. – Vol. 27, is. 8. – P. 2818–2825. – DOI 10.1002/chem.202004618.
 148. Okotrub K.A., Zaytseva I.V., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V. Raman spectroscopy and DSC assay of the phase coexistence in binary DMPC/cholesterol multilamellar vesicles // *Biochimica et Biophysica Acta – Biomembranes*. – 2021. – Vol. 1863, № 2. – P. 183514. – DOI: 10.1016/j.bbamem.2020.183514.
 149. Oreshonkov A.S., Azarapin N.O., Shestakov N.P., Adichtchev S.V. Experimental and DFT study of BaLaCuS₃: direct band gap semiconductor // *Journal of physics and chemistry of solids*. – 2021. – Vol. 148. – P. 109670 (7 p.). – DOI 10.1016/j.jpcs.2020.109670.
 150. Paloschi D., Bronnikov K.A., Korganbayev S., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Saccomandi P. 3D shape sensing with multicore optical fibers: transformation matrices versus Frenet-Serret equations for real-time application // *IEEE Sensors Journal*. – 2021. – Vol. 21, Is. 4. – P. 9233257 (12 p.). – P. 4599–4609. – DOI 10.1109/JSEN.2020.3032480.
 151. Parkhomenko R.G., Kuchyanov A.S., Knez M., Stockman M.I. Lasing spaser in photonic crystals // *ACS Omega*. – 2021. – Vol. 6, is. 6. – P. 4417–4422. – DOI: 10.1021/acsomega.0c05813.
 152. Pavlenko A.N., Kuznetsov D.V., Bessmeltsev V. P. Experimental study on heat transfer and critical heat flux during pool boiling of nitrogen on 3D printed structured copper capillary-porous coatings // *Journal of engineering thermophysics*. – 2021. – Vol. 30. – P. 341–349. – DOI 10.1134/S1810232821030012.
 153. Ponomarev R., Konstantinov Y., Belokrylov M., Lobach I.A., Shevtsov D. Reflectometry study of the pyroelectric effect on proton-exchange channel waveguides in lithium niobate // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, is. 21. – P. 9853. – DOI 10.3390/app11219853.
 154. Romanenko A.A., Snytnikov A.V., Lemaire T., Masson P. Monte Carlo Collision method for Particle-In-Cell plasma simulation: PyTorch implementation // *Journal of Physics: Conference series*. – 2021. – Vol. 2028, is. 1: 4rd Virtual Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes, MHD-PP 2021; 12–14 October, 2021, Novosibirsk, Russian Federation. – P. 012015. – DOI 10.1088/1742-6596/2028/1/012015.

155. Rybak A., Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A. Terahertz Optical Properties of KTiOPO_4 Crystal in the Temperature Range of $(-192)\text{--}150\text{ }^\circ\text{C}$ // *Crystals*. – 2021. – Vol. 11, is. 2. – P. 125. – DOI 10.3390/cryst11020125.
156. Saprykin E.G., Chernenko A.A. Numerical studies of the saturated absorption resonances in a nonlinear spectroscopy of the degenerate atomic transitions // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1730: 9th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences (IC-MSQUARE), 2020 (Tinos island, Greece, September 7–10, 2020). – P. 012108. – DOI 10.1088/1742-6596/1730/1/012108.
157. Sedukhin A.G. Efficient generation of annular cylindrical vector beams by refractive axicons with high-transmission thin-film retarders // *Optics Communications*. – 2021. – Vol. 499. – C. 127293. – DOI 10.1016/j.optcom.2021.127293.
158. Shakhno E.A., Nguyen Q.D., Sinev D.A., Matvienko E.V., Zakoldaev R.A., Veiko V.P. Laser thermochemical high-contrast recording on thin metal films // *Nanomaterials*. – 2021. – Vol. 11, is. 1. – P. 67 (1–16). – DOI: 10.3390/nano11010067.
159. Shepelin A.V., Rostom A.M., Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Multiworld motives by closed time-like curves // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 2081. – P. 012029. – DOI:10.1088/1742-6596/2081/1/012029.
160. Shevchenko O.N., Nikolaev N.A., Kokh K.A. Detection of THz waves in GaSe:S crystals by femtosecond laser radiation with a telecom wavelength of $1.55\text{ }\mu\text{m}$ // *Journal of physics: conference series*. – 2021. – Vol. 2067: The IX International symposium "Modern problems of laser physics" (MPLP 2021) (Novosibirsk, August 22–29, 2021). – P. 012012 (6 p.). – DOI 10.1088/1742-6596/2067/1/012012.
161. Shimansky R.V., Belousov D.A., Korolkov V.P., Kuts R.I. Diffractive sensor elements for registration of long-term instability at writing of computer-generated holograms // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21, is. 15. – P. 6635. – DOI 10.3390/s21196635.
162. Shtyrina O.V., Podivilov E.V., Skidin A.S., Yarutkina I.A., Lobasenko R.B., Fedoruk M.P. Study of a dissipative soliton in the distributed mathematical model of ultra-long mode-locked fiber lasers // *JOSA B*. – 2021. – Vol. 38, is. 9. – P. 2488–2493. – DOI 10.1364/JOSAB.430329.
163. Skrzypacz P., Wei D., Nurakhmetov D., Kostsov E.G., Sokolov A.A., Begzhigitov M., Ellis G. Analysis of dynamic pull-in voltage and response time for a micro-electro-mechanical oscillator made of power-law materials // *Nonlinear Dynamics*. – 2021. – Vol. 105, is. 1. – P. 227–240. – DOI 10.1007/s11071-021-06653-3.
164. Smirnov S., Andryushkov V., Podivilov E.V., Sturman B.I., Breunig I. Soliton based $\chi^{(2)}$ combs in high-Q optical microresonators // *Optics express*. – 2021. – Vol. 29, is. 17. – P. 27434–27449. – DOI 10.1364/OE.432529.
165. Snytnikov A.V., Lazareva G.G., Romanenko A.A. GPU Simulation of Electron Beam Current Distribution during Pulsed Heating of a Metal Target // *Journal of Physics: Conference series*. – 2021. – Vol. 2028, is. 1: 4rd Virtual Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes, MHD-PP 2021; 12–14 October, 2021, Novosibirsk, Russian Federation. – P. 012006. – DOI 10.1088/1742-6596/2028/1/012006.
166. Subanakov A.K., Kovtunets E.V., Bazarov B.G., Pugachev A.M., Sofich D.O., Bazarova J.G. Exploration of structural, thermal and vibrational properties of new non-centrosymmetric double borate $\text{Rb}_3\text{Tm}_2\text{B}_3\text{O}_9$ // *Solid State Sciences*. – 2021. – Vol. 120. – 106719. – DOI: 10.1016/j.solidstatesciences.2021.106719.

167. Surovtsev N.V., Adichtchev S.V. Dynamic response on a nanometer scale of binary phospholipid-cholesterol vesicles: Low-frequency Raman scattering insight // *Physical Review E*. – 2021. – Vol. 104, is. 5. – P. 054406. – DOI 10.1103/PhysRevE.104.054406.
168. Svajdlenkova H., Sausa O., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V., Novikov V.N., Bartos J. On the mutual relationships between molecular probe mobility and free volume and polymer dynamics in organic glass formers: Cis-1,4-poly(isoprene) // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13, is. 2. – P. 294. – P. 1–24. – DOI: 10.3390/polym13020294.
169. Szabados J., Amiune N., Sturman B.I., Breunig I. Fine structure of second-harmonic resonances in $\chi^{(2)}$ optical microresonators // *Optics Express*. – 2021. – Vol. 29, iss. 9. – P. 13925–13936. – DOI 10.1364/OE.424617.
170. Tkachev S.N., Ahart M., Novikov V.N., Kojima S. Pressure dependence of Poisson's ratio of glassy Baltic amber studied by Brillouin scattering spectroscopy // *Japanese Journal of Applied Physics*. – 2021. – Vol. 60, is. SD. – P. SDDA04. – DOI: 10.35848/1347-4065/abea4f.
171. Vladimirkaya A.D., Kamynin V.A., Lobach I.A., Kablukov S.I. Robust operation of linearly polarized broad-range self-sweeping Ho-doped fiber laser // *Laser physics letters*. – 2021. – Vol. 18, is. 7. – P. 075101. – DOI 10.1088/1612-202X/ac0154.
172. Vyatkin S.I., Korobeinikova O.N., Mykhaylov P., Chekhmestruk R., Vodzinska O., Ovcharuk V., Kotyra A., Kashaganova G., Julayeva Z. A method for calculating trajectories independent of the explicit determination of an object's equation of motion // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2021. – Vol. 97, № 9. – P. 34–37. – DOI 10.15199/48.2021.09.07.
173. Wang Y., Fu S., Kong J., Komarov A.K., Klimczak M., Buczynski R., Tang X., Tang M., Qin Y., Zhao L. Nonlinear Fourier Transform enabled Eigenvalue spectrum investigation for fiber laser radiation // *Photonics Research*. – 2021. – Vol. 9, is. 8. – P. 1531–1539. – DOI 10.1364/PRJ.427842.
174. Yelisseyev A., Lobanov S., Molokeevev M., Zhang S., Pugachev A., Lin Z., Vedenyapin V., Kurus A., Khamoyam A., Isaenko L. A New Nonlinear Optical Selenide Crystal AgLiGa₂Se₄ with Good Comprehensive Performance in Mid-Infrared Region // *Advanced Optical Materials*. – 2021. – Vol. 9, № 5. – P. 2001856.
175. Zhdanov I.S., Bednyakova A.E., Volosi V.M., Kharenko D.S. Energy scaling of an erbium-doped mode-locked fiber laser oscillator // *OSA Continuum*. – 2021. – Vol. 4, is. 10. – P. 2663–2670. – DOI 10.1364/OSAC.441262.

6.3. МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ

1. Абалмасов В.А. Переворот поляризации импульсом, деполаризующее поле и форма домена // XXII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС-XXII) (г. Екатеринбург, Россия, 25–28 августа 2021). Сборник тезисов. – 2021. – С. 205.
2. Абалмасов В.А. Упорядочение диполей молекул воды в нанопорах кордирита: вычисления методом Монте-Карло // Там же. – С. 75–76.
3. Абалмасов В.А. Частота ангармонического осциллятора как функция температуры // 7-ой Урало-Сибирский семинар «Спектроскопия комбинационного

- рассеяния света» (г. Екатеринбург, Россия, 23–25 августа, 2021), тезисы докладов. – С. 74.
4. Абдрахманов С.И., Кузнецов А.Г., Харенко Д.С. Исследование различных типов волоконных усилителей для масштабирования диссипативных солитонов // Оптика и фотоника: материалы 11-й молодежной конкурс-конференции «Оптические и информационные технологии 2021» (ОИТ–2021) (г. Новосибирск, Россия, 11–12 ноября, 2021). – С. 5–6.
 5. Абдрахманов С.И., Кузнецов А.Г., Харенко Д.С. Исследование различных типов волоконных усилителей для масштабирования диссипативных солитонов // Нелинейная фотоника: Материалы V Международной школы для молодых ученых (г. Новосибирск, Россия, 9–14 августа, 2021). – С. 3–5. – DOI 10.25205/978-5-4437-1211-6-3-5.
 6. Абраменко А.А. Разработка межверсионного конвертера для программ на языке Reflex 1.0 // МНСК–2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 122.
 7. Агулов В.В. Библиотека чтения/записи виртуализированных битовых потоков данных // Там же. – С. 52.
 8. Адищев С.В., Суровцев Н.В. Исследование температурной зависимости скорости звука в мембране многослойных везикул методом рассеяния Мандельштама-Бриллюэна // 7-ой Урало-Сибирский семинар «Спектроскопия комбинационного рассеяния света» (г. Екатеринбург, Россия, 23–25 августа, 2021), тезисы докладов. – С. 66.
 9. Адищев С.В., Суровцев Н.В. Низкочастотное рассеяние света в дибутилфталате // Там же. – С. 56.
 10. Бабин С.А., Лабусов В.А., Селюнин Д.О., Пелипасов О.В. Расширение динамического диапазона анализаторов МАЭС на основе линеек фотодетекторов БЛПП-2000 и БЛПП-4000 // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 209–220. УДК 543.423: 543.08.
 11. Бабин С.А., Скворцов М.И., Вольф А.А., Достовалов А.В., Абдуллина С.Р., Власов А.А. Волоконные лазеры с распределенной обратной связью на основе регулярных и случайных структур показателя преломления // Фотоника–2021: Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотэлектроники (с участием иностранных ученых) (г. Новосибирск, Россия, 4–8 октября, 2021): тезисы докладов. – С. 19. – DOI 10.34077/RCSP2021-19.
 12. Баталова К.В., Черткова Я.В., Катасонов Д.Н. Гибридная лазерная система для создания печатной электроники // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс «Электронное геопространство на службе общества» (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021): сб. материалов. – Т. 6: Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – С. 32–37. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-6-32-37.
 13. Башев В.И. Бесшовная интеграция языка роST в среду CoDeSys // МНСК–2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 124.

14. Бессмельцев В.П., Голошевский Н.В., Катасонов Д.Н. Гибридный 3D-принтер для послойного формирования структур с проводящей топологией // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021). Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика–2021. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей. – С. 40–46. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-40-46.
15. Бехтерев А.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н. Предприятию «ВМК-Оптоэлектроника» – 30 лет! // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 5–8. – УДК 543.423: 543.08.
16. Болдова С.С., Колосов Н.А., Лабусов В.А. Расширение диапазона определения элементов на атомно-абсорбционном спектрометре «Гранд-АСС» с использованием нескольких их линий поглощения // Там же. – С. 152–161. УДК 543.423: 543.08.
17. Бычкова С.А. Поляризационная терагерцовая спектроскопия // Наука. Технологии. Инновации: XV Всероссийская научная конференция молодых ученых, посвященная Году науки и технологий в России (г. Новосибирск, Россия, 6–10 декабря 2021): сб. научных трудов : в 10 ч. : Ч. 3 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств. Материаловедение, технологические процессы и аппараты». – С. 146–147.
18. Бычкова С.А. Поляризационная терагерцовая спектроскопия // Оптика и фотоника: материалы 11-й молодежной конкурс-конференции «Оптические и информационные технологии 2021» (ОИТ–2021) (г. Новосибирск, Россия, 11–12 ноября, 2021). – С. 7.
19. Бычкова С.А. Терагерцовая метаповерхность с чувствительным к углу падения резонансом для исследования пленок субмикронной толщины // МНСК–2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 27.
20. Бычкова С.А. Терагерцовый сенсор на базе метаповерхности с чувствительным к углу падения резонансом // Материалы научной студенческой конференции «Дни науки НГТУ-2021, посвященные Году науки и технологий» (г. Новосибирск, Россия, 15–18 мая 2021). – 2021. – С. 33–35.
21. Ващенко П.В., Лабусов В.А., Бабин С.А., Шиманский Р.В. Апертурные характеристики линеек фотодетекторов БЛПП-2000 и БЛПП-4000 // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 226–228. УДК 543.423 : 543.08.
22. Ващенко П.В., Лабусов В.А., Безруков А.Д. Измерение интенсивности спектральных линий по дискретным отсчётам линейчатого спектра // Там же. – С. 221–225. УДК 543.423: 543.08.

23. Витченко В.А. Исследование способа расширения Web-IDE процесс-ориентированного языка Rflex // МНСК–2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 15.
24. Волоси В.М. Особенности усиления ультракоротких импульсов в оптических волокнах в С-диапазоне // Там же. Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 28.
25. Воробьев Н.А. Автоматизация поиска режима синхронизации мод волоконного лазера на эффекте нелинейного вращения поляризации // Там же. Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 16.
26. Гаранин В.Г., Неклюдов О.А., Петроченко Д.В., Семёнов З.В., Ващенко П.В. Программное обеспечение атомного спектрального анализа «Атом» // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 243–253. УДК 543.423: 543.08
27. Гейдт П.В., Рыбак А.А., Володин А.М., Николаев Н.А., Капишников А.В. Исследование функциональных свойств электридной керамики вида С12А7 для перспективной электроники // Радиотехника, электроника и связь (РЭИС-2021): Тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции (г. Омск, Россия, 6–8 октября, 2021). – С. 177–178.
28. Горнев И.А. Создание облачной среды разработки для процесс-ориентированного языка Reflex // МНСК-2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 17.
29. Гривцова А.Л. Автоматическая генерация верифицирующего кода для динамической верификации процесс-ориентированных Reflex-программ // Там же. – С. 18.
30. Громилин Г.И., Косых В.П. Коррекция неравномерной чувствительности сканирующего ФПУ при межкадровой обработке последовательности изображений // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ–2021): сб. трудов по материалам VII Международной конференции и молодежной школы (г. Самара, Россия, 20–24 сентября, 2021): в 3 т. – Т. 2. – С. 21762.
31. Громилин Г.И., Яковенко Н.С. Способ оценки положения центра зрачка в системе EyeTracking со свободным положением головы // Там же. – С. 23262.
32. Гурин Н.А. Разработка широкополосного просветляющего покрытия в области 8–12 мкм // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021): Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика–2021. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей. – С. 214–219. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-214-219.

33. Двинянин А.А. Разработка модуля отладки Reflex-программ на цифровых моделях объекта управления // МНСК-2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 19
34. Деревянко Д.И., Пен Е.Ф., Шелковников В.В. Голографический фотополимерный материал с большой модуляцией показателя преломления // HOLOEXPO 2021. XVIII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (г. Геленджик, Россия, 20–23 сентября, 2021): Тезисы докладов. – 2021. – С. 243–247.
35. Дзюба А.А., Додонов С.В., Лабусов В.А. Возможности применения высокоразрешающего спектрометра «Гранд-2000» // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 198–208. УДК 543.423: 543.08.
36. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Зарубин И.А. Новый атомно-эмиссионный спектрометр «Гранд-2000» // Там же. – С. 187–197. УДК 543.423: 543.08.
37. Добрынина Е.А. Изучение влияния солей, представителей ряда Гофмейстера, на полосу ОН-колебаний в спектрах комбинационного рассеяния света // МНСК-2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 210.
38. Добрынина Е.А., Зыкова В.А. Изучение водных растворов солей из ряда Гофмейстера методами оптической спектроскопии // 7-ой Урало-Сибирский семинар «Спектроскопия комбинационного рассеяния света» (г. Екатеринбург, Россия, 23–25 августа, 2021), тезисы докладов. – С. 16–17.
39. Добрынина Е.А., Зыкова В.А. Изучение температурной зависимости скорости звука в гидратированных фосфолипидных пленках DMPC методом рассеяния Мандельштама-Бриллюэна // Оптика и фотоника: материалы 11-й молодежной конкурс-конференции «Оптические и информационные технологии 2021» (ОИТ–2021) (г. Новосибирск, Россия, 11–12 ноября, 2021). – С. 8–9.
40. Добрынина Е.А., Окотруб К.А., Адищев С.В., Кручинина М.В., Кручинин В.Н., Суровцев Н.В. Исследование возможности характеристики мембран эритроцитов человека методом комбинационного рассеяния света // VIII Международная научно-практическая конференция молодых ученых: биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов – 2021 (г. Новосибирск, Россия, 5–7 октября 2021): Сб. тез. АНО «Иннов. центр Кольцово». – С. 145. https://openbio.ru/openbio_tezis_2021.pdf
41. Долговесов Б.С., Шадрин М.Ю., Брагин В.И. Модернизация системы обработки и отображения визуальной информации «Мозаика» комплекса тренажеров Российского сегмента Международной космической станции // Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина». Звездный городок, Московская обл., Россия, 17–19 ноября 2021). – С. 153.

42. Дроботун В.А. Архитектура базового микроконтроллерного узла для процессориентированных распределенных систем // МНСК-2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 255
43. Ждаркин Е.Б. Разработка смарт-контрактов для платформы ScientificCoin // Там же: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 136.
44. Зайцева И.В. Применение спектроскопических методов для изучения особенностей в параэлектрической фазе в сегнетоэлектрических материалах // Современные тенденции развития функциональных материалов: сборник тезисов докладов Международной молодежной научной конференции (г. Сочи, Россия, 11–13 ноября 2021). – С. 43–44.
45. Зайцева И.В., Пугачев А.М., Суровцев Н.В., Ивлева Л.И., Лыков П.А. Применение спектроскопии КРС и РМБ для изучения локальных полярных областей в параэлектрической фазе в сегнетоэлектриках и релаксорах // 7-ой Урало-Сибирский семинар «Спектроскопия комбинационного рассеяния света» (г. Екатеринбург, Россия, 23–25 августа, 2021), тезисы докладов. – С. 40–41.
46. Зайцева И.В., Пугачев А.М., Суровцев Н.В., Крылов А.С. Исследование механических напряжений, действующих в сегнетоэлектрической керамике ВаTiO₃, методами комбинационного рассеяния света и рассеяния Мандельштама-Бриллюэна // XXII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС–XXII) (г. Екатеринбург, Россия, 25–28 августа 2021). Сборник тезисов. – 2021. – С. 135.
47. Зайцева Ю.В. Исследование везикул фосфолипидов тройной смеси DOPC/DPPC-d62/холестерин методом комбинационного рассеяния света // МНСК-2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 211.
48. Зайцева Ю.В. Исследование спектров комбинационного рассеяния света везикул дейтерированного фосфолипида DPPC-d62 и его смесей // 7-ой Урало-Сибирский семинар «Спектроскопия комбинационного рассеяния света» (г. Екатеринбург, Россия, 23–25 августа, 2021): тезисы докладов. – С. 128–129.
49. Зайцева Ю.В. Применение спектроскопии комбинационного рассеяния света для исследования конформационных состояний гидрофобных хвостов в смесях DOPC/DPPC-d62/холестерин и POPC/DPPC-d62/холестерин // Оптика и фотоника: материалы 11-й молодежной конкурс-конференции «Оптические и информационные технологии 2021» (ОИТ–2021) (г. Новосибирск, Россия, 11–12 ноября, 2021). – С. 10–11.

50. Зайцева Ю.В. Спектроскопия комбинационного рассеяния света для изучения влияния температуры и липидного состава на конформационные состояния гидрофобных хвостов фосфолипидов // Современные тенденции развития функциональных материалов: сборник тезисов докладов Международной молодежной научной конференции (г. Сочи, Россия, 11–13 ноября 2021). – С. 45.
51. Зайцева Ю.В., Суровцев Н.В. Исследование многослойных везикул липидных смесей методом комбинационного рассеяния света // VIII Международная научно-практическая конференция молодых ученых: биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов – 2021 (г. Новосибирск, Россия, 5–7 октября 2021): Сб. тез. АНО «Иннов. центр Кольцово». – С. 146
52. Зарубин И.А., Путьмаков А.Н., Лукина Е.А., Селюнин Д.О., Бурумов И.Д. Расширение рабочего диапазона определения щелочных металлов и кальция методом пламенной фотометрии со спектром «Павлин» // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 164–168. УДК 543.423: 543.08.
53. Зыкова В.А., Суровцев Н.В., Журавлёва И.Ю. Спектроскопия рассеяния Мандельштама-Бриллюэна для характеристики ксеногенных коллагенсодержащих биоматериалов // 7-ой Урало-Сибирский семинар «Спектроскопия комбинационного рассеяния света» (г. Екатеринбург, Россия, 23–25 августа, 2021), тезисы докладов. – С. 70–71.
54. Иванов С.Д., Косцов Э.Г. Быстродействующий неохлаждаемый приемник ИК излучения на основе тонких пленок ниобата бария-стронция // XXII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС–XXII) (г. Екатеринбург, Россия, 25–28 августа 2021). Сборник тезисов. – 2021. – С. 267.
55. Калмыков Н.И. Оптимизация источника зондирующего излучения для распределенного волоконного датчика температуры // МНСК-2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 31.
56. Калмыков Н.И., Коваленко Д.А., Лобач И.А. Влияние спонтанного излучения на форму сигналов в распределенном волоконном датчике температуры на основе комбинационного рассеяния света // Оптика и фотоника: материалы 11-й молодежной конкурс-конференции «Оптические и информационные технологии 2021» (ОИТ–2021) (г. Новосибирск, Россия, 11–12 ноября, 2021). – С. 12–13.
57. Колосов Н.А., Болдова С.С., Вашенко П.В. Методы контроля нагрева графитовой кюветы в электротермическом атомизаторе атомно-абсорбционного спектрометра // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021): Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика–2021. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей. – С. 47–56. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-47-56.

58. Колосов Н.А., Болдова С.С., Лабусов В.А. Оценка возможности контроля температуры электротермического атомизатора по сигналам поглощения элементов // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 235-242. УДК 543.423: 543.08
59. Комин О.В., Пелипасов О.В. Влияние 1% NA на распределение интенсивностей атомов пробы в азотной микроволновой плазме при аксиальном и радиальном способе наблюдения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021): Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика–2021. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей. – С. 81–92. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-81-92.
60. Корольков В.П., Коношенко П.Е., Микерин С.Л. Применение планаризации микрорельефа фоторезистом для характеристики дифракционных матриц при производстве бифокальных интраокулярных линз «МИОЛ-АККОРД» // Там же. – С. 17–24. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-17-24.
61. Корольков В.П., Коношенко П.Е., Микерин С.Л., Насыров Р.К., Куц Р.И. О методе измерения распределения энергии света по фокусам для матрицы дифракционного компонента бифокальной интраокулярной линзы // HOLOEXPO 2021. XVIII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (г. Геленджик, Россия, 20–23 сентября, 2021): Тезисы докладов. – 2021. – С. 201–206.
62. Корольков В.П., Куц Р.И., Саметов А.Р., Черкашин В.В., Голубцов С.К., Малышев А.И. Прямая лазерная запись отражающих полутонковых микроизображений на тонких пленках хрома // Там же. – С. 48–52.
63. Корольков В.П., Седухин А.Г., Гурин Н.А., Малышев А.И. Исследование метода прямой лазерной записи оптических элементов с бинарным высококонтрастным амплитудно-фазовым пропусканием // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021): Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика–2021. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей. – С. 236–240. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-236-240.
64. Красионов И.И. Достижение гейзенберговского предела в квантовом оптическом гиromетре с двухмодовым сжаты вакуумом // МНСК-2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 35.
65. Крутский Ю.Л., Крутская Т.М., Гудыма Т.С., Сковородин И.Н., Лапекин Н.И., Лазаренко Н.С., Шестаков А.А. О механизме карботермического и карбидоборного восстановления оксидов некоторых переходных металлов // Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции (г. Новокузнецк, Россия, 10–11 ноября, 2021): ч. 2. – 2021. – С. 41–45.

66. Кузиковский С.А., Бартош В.С. Новое рабочее место с расширенными возможностями для отработки навыков визуально-инструментального наблюдения с орбиты Земли // Пилотируемые полеты в космос: материалы XIV Международной научно-практической конференции (Звездный городок, 17–19 ноября, 2021). – С. 114.
67. Кузнецов С.А., Гельфанд А.В., Лазорский П.А., Федоринин В.Н., Аржанников А.В., Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Рыбак А.А., Генцелев А.Н., Бессмельцев В.П. Высокоэффективные квазиоптические частотные фильтры ТГц диапазона на основе частотно-избирательных поверхностей // Фотоника–2021: Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) (г. Новосибирск, Россия, 4–8 октября, 2021): тезисы докладов. – С. 48. – DOI 10.34077/RCSP2021-48.
68. Кузнецов С.А., Гельфанд А.В., Мамрашев А.А., Минаков Ф.А., Николаев Н.А. Высокоэффективные поляризаторы с металлической решеткой на несущих полимерных пленках для широкополосной терагерцевой спектроскопии // Там же. – С. 43. – DOI 10.34077/RCSP2021-43.
69. Купцов А.В., Волженин А.В., Лабусов В.А., Сапрыкин А.И. Возможности метода атомно-эмиссионной спектроскопии на двухструйном дуговом плазматроне с искровым пробоотбором // XI Всероссийская научная конференция и школа «Аналитика Сибири и Дальнего Востока», посвященная 100-летию со дня рождения И.Г. Юделевича (АСиДВ-11) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 августа, 2021): сборник тезисов докладов. – 2021. – С. 86. УД-VIII-12. – DOI 10.26902/ASFE-11_69.
70. Купцов А.В., Медведев Н.С., Лабусов В.А., Сапрыкин А.И. Использование электротермического испарения для анализа теллура методом атомно-эмиссионной спектроскопии на двухструйном дуговом плазматроне // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 179. УДК 543.423: 543.08.
71. Куц Р.И., Корольков В.П., Саметов А.Р., Малышев А.И. Исследование формирования лазерно-индуцированных периодических наноструктур при прямой лазерной записи ДОЭ на тонких пленках циркония // Оптика и фотоника: материалы 11-й молодежной конкурс-конференции «Оптические и информационные технологии 2021» (ОИТ–2021) (г. Новосибирск, Россия, 11–12 ноября, 2021). – С. 17–18.
72. Куц Р.И., Корольков В.П., Хомутов В.Н., Малышев А.И., Микерин С.Л. Исследование пленок переходных металлов как материалов для лазерного наноструктурирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021): Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика–2021. Актуальные вопросы высокотехнологических отраслей. – С. 241–247. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-241-247.
73. Куц Р.И., Шиманский Р.В., Корольков В.П., Белоусов Д.А. Дифракционный метод оценки погрешностей записи компьютерно-синтезированных голограмм на круговых лазерных записывающих системах // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП-

- 2021): Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (г. Бийск, Россия, 27–28 сентября, 2021). – С. 44–45.
74. Лабунцов В.И. Волоконный ВКР-лазер на основе семисердцевинного волокна с перекрестной связью между сердцевинами // МНСК-2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 36.
75. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Гаранин В.Г. Спектрометры с анализаторами МАЭС на основе новых линеек фотодетекторов // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 16–27. УДК 543.423:543.08.
76. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Зарубин И.А. Оптическая спектрометрия с анализаторами МАЭС на основе новых линеек фотодетекторов // XI Всероссийская научная конференция и школа «Аналитика Сибири и Дальнего Востока», посвященная 100-летию со дня рождения И.Г. Юделевича (АСиДВ-11) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 августа, 2021): сборник тезисов докладов. – 2021. – С. 30. – ISBN 978-5-901688-23-6 (http://dx.doi.org/10.26902/ASFE-11_20).
77. Лаврентьев М.М., Марчук Ан. Г. Новые возможности моделирования на ПК на примере решения системы уравнений мелкой воды в задаче прогноза цунами // Международная конференция «Математические идеи П.Л. Чебышёва и их приложения к современным проблемам естествознания», приуроченная к 200-летию со дня рождения великого русского математика, академика П.Л. Чебышёва. Материалы конференции (г. Обнинск, Россия, 14–18 мая 2021). С. 46–47.
78. Лаврентьев М.М., Марчук Ан.Г., Облаухов К.К., Романенко А.А. Быстрое численное моделирование на базе персонального компьютера // PROCEEDINGS, Geothermal Volcanology Workshop (Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, September 6–11, 2021). P. 113–117.
79. Лаврентьев М.М., Марчук Ан. Г., Облаухов К.К., Шадрин М.Ю. Аппаратно-программные средства быстрой оценки опасности цунами // Геодинамические процессы и природные катастрофы: IV Всероссийская научная конференция с международным участием (г. Южно-Сахалинск, Россия, 6–10 сентября, 2021): тезисы докладов. – С. 84.
80. Лаврентьев М.М., Марчук Ан.Г., Облаухов К.К., Шадрин М.Ю. Быстрое решение системы уравнений мелкой воды на персональном компьютере // III Всероссийская научная конференция с международным участием «Волны цунами: моделирование, мониторинг, прогноз» (Москва, 16–17 ноября, 2021). Сборник тезисов докладов / Под ред. М.А. Носова. – М.: Научный совет по проблемам цунами ОНЗ РАН. С. 14.
81. Лукьянов М.Ю., Ахмед А.Г.М., Буш А.А., Прохоров А.С., Анзин В.Б., Абалмасов В.А., Гошунов Б.П., Алябьева Л.Н. Влияние ионного замещения на те-

- рагерцовую электродинамику гексаферрита бария // VII Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии ЛАПЛАЗ-2021» (Москва, Россия, 23–26 марта, 2021): сборник тезисов. – Т. 1. – С. 263–264.
82. Манаков Г.Д. Метод расширения Web-IDE языка Reflex проблемно-ориентированными модулями // МНСК-2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 24.
83. Марчук Ан.Г. Направленность излучения волновой энергии очагом цунами // Международная конференция «Математические идеи П.Л. Чебышёва и их приложения к современным проблемам естествознания», приуроченная к 200-летию со дня рождения великого русского математика, академика П.Л. Чебышёва. Материалы конференции (г. Обнинск, Россия, 14–18 мая 2021). С. 189–190.
84. Мигранов Д.И. Система для визуализации трехмерных сферического и эллиптического пространств // МНСК-2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 56.
85. Минаков Ф.А., Мамрашев А.А., Анцыгин В.Д., Николаев Н.А. Поляризационно-чувствительная терагерцовая спектроскопия анизотропных кристаллов // Фотоника-2021: Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) (г. Новосибирск, Россия, 4–8 октября, 2021): тезисы докладов. – С. 49. – DOI 10.34077/RCSP2021-49.
86. Мулляджанов И.И. Эффективный алгоритм для расчета данных рассеяния периодической системы Захарова-Шабата // МНСК-2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 37.
87. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Формирование фазовых профилей дифракционных элементов высокого порядка дифракции в халькогенидных слоях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021): Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика-2021. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей. – С. 204–209. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-204-209.
88. Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Анцыгин В.Д., Андреев Ю.М. Свойства сегнетоэлектрических кристаллов KTiOPO_4 , KTiOAsO_4 и KNbO_3 в терагерцовой области спектра // XXII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС-XXII) (г. Екатеринбург, Россия, 25–28 августа 2021). Сборник тезисов. – 2021. – С. 157.
89. Николаев Н.А., Рыбак А.А., Мамрашев А.А., Анцыгин В.Д. Терагерцовые свойства сегнетоэлектриков KTiOPO_4 , KTiOAsO_4 и KNbO_3 // Фотоника-2021: Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (г. Новосибирск, Россия, 4–8 октября, 2021): тезисы докладов. – С. 117. – DOI 10.34077/RCSP2021-117.

90. Новоселов А.Р., Алдохин П.А., Добровольский П.П., Маточкин А.Е. Влияние величины изгиба флип-чип фотоприёмника на его разрушение при многократных циклах охлаждения до температуры жидкого азота // Там же. – С. 152. – DOI 10.34077/RCSP2021-152.
91. Окотруб К.А., Окотруб С.В., Мокроусова В.И., Амстиславский С.Я., Суровцев Н.В. Исследование сосуществования фаз липидов в ооцитах домашней кошки методом спектроскопии комбинационного рассеяния света дейтерированных меток // 7-ой Урало-Сибирский семинар «Спектроскопия комбинационного рассеяния света» (г. Екатеринбург, Россия, 23–25 августа, 2021), тезисы докладов. – С. 25.
92. Орешонков А.С., Шестаков Н.П., Молокеев М.С., Рогинский Е.М., Адисцев С.В., Пугачев А.М., Гудим И.А., Темеров В.Л., Чимитова О.Д. КР и ИК спектроскопия тригональных и моноклинных боратов $\text{ReAl}_3(\text{BO}_3)_4$ // Там же. – С. 51–52.
93. Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Саушкин М.С., Скоробогатов Д.Н., Семенов З.В., Пелевина Н.Г. Атомно-эмиссионные спектрометры «Гранд-ИСП» и «Гранд-СВЧ» для анализа растворов // XI Всероссийская научная конференция и школа «Аналитика Сибири и Дальнего Востока», посвященная 100-летию со дня рождения И.Г. Юделевича (АСиДВ-11) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 августа, 2021): сборник тезисов докладов. – 2021. – С. 34. – УД-И-6. – DOI 10.26902/ASFE-11_24.
94. Пен Е.Ф. Эффективная энергия голографической записи с учётом темновой поляризации // X Международная конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, 27–29 января, 2021): сборник научных трудов. – 2021. – С. 459–460.
95. Пермьяшкин Д.А. Балансировка нагрузки в процесс-ориентированных программах методами комбинаторной оптимизации // XXII Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 25–29 октября 2021). Тезисы докладов. – 2021. – С. 58–59.
96. Пермьяшкин Д.А. Исследование алгоритмов планирования задач для целей процесс-ориентированного программирования // МНСК-2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 126.
97. Поддубровский Н.Р. Спектрометр терагерцового диапазона на основе волоконного самосканирующего лазера // Там же. Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 39.
98. Поддубровский Н.Р., Лобач И.А., Каблуков С.И. Волоконный эрбиевый самосканирующий лазер с кольцевым резонатором // Оптика и фотоника: материалы 11-й молодежной конкурс-конференции «Оптические и информационные технологии 2021» (ОИТ–2021) (г. Новосибирск, Россия, 11–12 ноября, 2021). – С. 23–24.

99. Полякова Е.В., Пелипасов О.В. Сравнение матричных эффектов на атомно-эмиссионных спектрометрах с микроволновой плазмой // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 147–151. УДК 543.423: 543.08.
100. Пономаренко А.А. Исследование применимости пакета SPIN для целей верификации Reflex-программ // МНСК-2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 70.
101. Пришляк Е.Е. Система управления совместными действиями беспилотных аппаратов // Там же. Информационные технологии. – С. 42.
102. Пришляк Е.Е. Управление совместным движением колесного робота и беспилотного летательного аппарата // XIV Всероссийская мультikonференция по проблемам управления (МКПУ-2021): материалы XIV мультikonференции (Дивноморское, г. Геленджик, Россия, 27 сентября – 2 октября 2021): в 4 т. Т. 1. С. 104–106.
103. Пугачев А.М. Спектроскопические исследования особенностей фазовых переходов при локальном нарушении симметрии в сегнетоэлектриках и релаксорах // XXII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС–XXII) (г. Екатеринбург, Россия, 25–28 августа 2021). Сборник тезисов. – 2021. – С. 29–30.
104. Рыбак А.А. Терагерцовые свойства нелинейных кристаллов KTiOPO_4 в диапазоне температур -192 – $+150$ С // МНСК–2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 40.
105. Рыбак А.А., Николаев Н.А., Анцыгин В.Д., Мамрашев А.А. Оптические терагерцовые свойства электрида $\text{I}_2\text{CaO}^7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C12A7) // Фотоника–2021: Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) (г. Новосибирск, Россия, 4–8 октября, 2021): тезисы докладов. – С. 116. – DOI 10.34077/R CSP2021-116.
106. Сапрыкин Э.Г., Черненко А.А. Когерентные резонансы насыщенного поглощения на переходе с моментами уровней $J=1/2$ в спектроскопии однонаправленных волн // Материалы XVIII молодежной конференции с международным участием по люминесценции и лазерной физике (г. Иркутск, Россия, 5–10 июля 2021). – 2021. – С. 140. – DOI 10.54041/9785962419435.
107. Сараева К.П. Исследование вариации состава в однослойных везикулах DOPC/DPPC-d62 и DPPC/DPPC-d62 методом спектроскопии комбинационного рассеяния света // МНСК-2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной

- студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 190.
108. Сараева К.П., Окотруб К.А. Исследование температурной зависимости коэффициента диффузии в бислоях DPPC методом восстановления флюоресценции после обесцвечивания // Оптика и фотоника: материалы 11-й молодежной конкурс-конференции «Оптические и информационные технологии 2021» (ОИТ–2021) (г. Новосибирск, Россия, 11–12 ноября, 2021). – С. 29–30.
 109. Сараева К.П., Окотруб К.А., Суровцев Н.В. Применение спектроскопии комбинационного рассеяния света для исследования однослойных везикул DOPC/DPPC-d62 // 7-ой Урало-Сибирский семинар «Спектроскопия комбинационного рассеяния света» (г. Екатеринбург, Россия, 23–25 августа, 2021), тезисы докладов. – С. 87.
 110. Сафенрейтер Д.А. Основные принципы разработки программного обеспечения устройства НТТР-фильтрации для промышленного интернета на платформе Linux // МНСК-2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 182.
 111. Семёнов З.В., Гаранин В.Г., Неклюдов О.А. Инструмент для диагностики и резервного копирования программного обеспечения «Атом» // Материалы XVII Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности», (г. Новосибирск, Россия, 10–12 августа, 2021). – С. 229–234. УДК 543.423: 543.08.
 112. Сизиков И.С., Тимофеев А.В., Ардюков Д.Г., Носов Д.А. Результаты измерений силы тяжести и смещений в районе Заполярного и Ямбургского нефтегазовых месторождений // Материалы Всероссийской молодежной научной конференции «Трофимуковские чтения – 2021» (г. Новосибирск, Россия, 11–16 октября 2021). – С. 71–75. – DOI 10.25205/978-5-4437-1251-2-71-75.
 113. Соколов А.А. Анализ качества пленок SBN на оксиде индия-олова // XXII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС–XXII) (г. Екатеринбург, Россия, 25–28 августа 2021). Сборник тезисов. – 2021. – С. 256.
 114. Суровцев Н.В. Низкочастотные спектры комбинационного рассеяния света водных суспензий фосфолипидных везикул // 7-ой Урало-Сибирский семинар «Спектроскопия комбинационного рассеяния света» (г. Екатеринбург, Россия, 23–25 августа, 2021), тезисы докладов. – С. 11.
 115. Суровцев Н.В. Низкочастотные спектры комбинационного рассеяния света нанометровых фосфолипидных мембран // Там же. – С. 61–63.
 116. Суровцев Н.В. Низкочастотные спектры комбинационного рассеяния света водных суспензий фосфолипидных везикул // Там же. – С. 11
 117. Суровцев Н.В. Спектроскопия комбинационного рассеяния света фосфолипидных мембран // Научный семинар «Передовые методы химической визуализации и колебательной спектроскопии для решения актуальных задач в области катализа и химической технологии» (г. Новосибирск, Россия, 22–23 июня 2021). – С. 12.
 118. Терещенко О.Е., Иванов С.Д., Половников Н.А., Соколов А.А., Русецкий В.С., Голяшов В.А., Миронов А.В., Дёмин А.Ю. Концепция пировидикона на основе

- пироэлектрического электронно-оптического преобразователя // XXII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС–XXII) (г. Екатеринбург, Россия, 25–28 августа 2021). Сборник тезисов. – 2021. – С. 49.
119. Терещенко О.Е., Иванов С.Д., Половников Н.А., Соколов А.А., Русецкий В.С., Голяшов В.А., Ярошевич А.С., Миронов А.В., Дёмин А.Ю. Новая концепция пировидикона на основе пироэлектрического электронно-оптического преобразователя диапазона 1–12 мкм // Фотоника–2021: Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) (г. Новосибирск, Россия, 4–8 октября, 2021): тезисы докладов. – С. 33. – DOI 10.34077/RCSP2021-33.
120. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Валитов М.Г., Сизиков И.С., Носов Д.А., Кулинич Р.Г., Калиш Е.Н., Стусь Ю.Ф. Измерение смещений и силы тяжести на юге Приморья // 12-й Всероссийский симпозиум «Физика геосфер» (г. Владивосток, Россия, 6–10 сентября, 2021): Материалы докладов. – С. 109–111.
121. Тургенева С.А., Микерин С.Л. Измерение главных значений показателя преломления и дисперсии одноосных кристаллов с использованием единственного среза и прибора METRICON 2010/M // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП-2021): Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (г. Бийск, Россия, 27–28 сентября, 2021). – С. 41–43.
122. Ухина А.В., Дудина Д.В., Бохонов Б.Б., Самошкин Д.А., Станкус С.В., Сквородин И.Н., Савинцева Д.В. Получение вольфрамсодержащих покрытий на поверхности синтетического алмаза и их влияние на теплопроводность композитов «медь-алмаз» // Химические технологии функциональных материалов: VII Международная российско-казахстанская научно-практическая конференция (г. Новосибирск, Россия, 28–30 апреля, 2021): Сборник трудов. – С. 200.
123. Федотов М.Ю., Овчинников И.Г., Шелемба И.С. Усиление полимерными композитными материалами и оптический мониторинг мостовых сооружений // Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности. Современные задачи инженерных наук: Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума и III Международного Косыгинского форума (Москва, 20–21 октября, 2021). – Т. 2. – С. 142–146.
124. Федотов М.Ю., Терентьев В.С. Исследование возможности применения волоконно-оптических датчиков для одновременного контроля деформации и температуры композитных материалов // Там же. – С. 156–160.
125. Феклистов К.В., Лемзяков А.Г., Шкляев А.А., Кривякин Г.К., Комонов А.И., Просвирин И.П., Гуляев Д.В., Абрамкин Д.С., Спесивцев Е.В., Пугачев А.М. Барьеры для инъекции носителей в ВЧ-магнетронно напыленные пленки $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Er}$ на кремнии // Фотоника–2021: Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) (г. Новосибирск, Россия, 4–8 октября, 2021): тезисы докладов. – С. 61. – DOI 10.34077/RCSP2021-61.
126. Феклистов К.В., Лемзяков А.Г., Шкляев А.А., Кривякин Г.К., Комонов А.И., Просвирин И.П., Гуляев Д.В., Абрамкин Д.С., Спесивцев Е.В., Пугачев А.М.

- Механизм протекания тока в ВЧ-магнетронно напыленных пленках $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Er}$ на кремнии // Там же. – С. 132. – DOI 10.34077/RCSP2021-132.
127. Черненко И.М. Использование индукции в системе Coq при доказательстве условий корректности для Reflex-программ // МНСК-2021: Математика: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 147.
 128. Чернявский А.Е. Обратная задача рассеяния прямоугольного и sech -импульсов для системы Захарова-Шабата // Там же. Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 42.
 129. Черткова Я.В., Катасонов Д.Н., Баталова К.В. Обзор средств трехмерной реконструкции // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021): Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 6: Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – С. 293–298. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-6-293-298.
 130. Шамаева Д.В. Исследование планарных структур DOPC-DPPC-Cholesterol методом спектроскопии комбинационного рассеяния света // МНСК-2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 225.
 131. Шамаева Д.В., Окотруб К.А., Суровцев Н.В. Изучение микромасштабных доменов в многокомпонентных фосфолипидных мембранах методом спектроскопии КРС // VIII Международная научно-практическая конференция молодых ученых: биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов – 2021 (г. Новосибирск, Россия, 5–7 октября 2021): Сб. тез. АНО «Иннов. центр Кольцово». – С. 168.
 132. Шамаева Д.В., Окотруб К.А., Суровцев Н.В. Исследование фазовой тройной диаграммы DOPC-DPPC(d62)-Chol методом картирования КРС // 7-ой Урало-Сибирский семинар «Спектроскопия комбинационного рассеяния света» (г. Екатеринбург, Россия, 23–25 августа, 2021), тезисы докладов. – С. 98.
 133. Шевченко О.Н. Генератор терагерцового излучения на базе структур металл-диэлектрик-полупроводник // Наука будущего – наука молодых: IV Международная научная конференция и VI Всероссийский молодежный форум (Москва, 17–20 ноября, 2021): сборник тезисов докладов. – С. 89.
 134. Шевченко О.Н., Николаев Н.А., Кох К.А. Детектирование ТГц волн в кристаллах GaSe:S с помощью фемтосекундных лазерных импульсов на длине волны 1550 нм // Фотоника–2021: Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) (г. Новосибирск, Россия, 4–8 октября, 2021): тезисы докладов. – С. 41. – DOI 10.34077/RCSP2021-41.

135. Шелковников В.В., Микерин С.Л., Симанчук А.Э., Чубаков П.А., Васильева Н.В., Коротаев С.В., Орлова Н.А., Бережная В.Н., Каргаполова И.Ю., Максимов А.М., Ищенко Р.А., Рязанов Н.Д. Органические нелинейно-оптические материалы на основе дендронизованных полифтортрифенилпиразолин-дицианоизофороновых хромофоров // Там же. – С. 124. – DOI 10.34077/RCSP2021-124.
136. Шепелин А.В. Квантовая информация в замкнутой мировой линии // МНСК-2021: Аэрофизика. Фотоника и квантовые оптические технологии. Физика плазмы. Физика твердого тела. Теплофизика. Физические методы в естественных науках и материаловедении. Физика элементарных частиц, астрофизика и космология. Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции, 12-23 апреля, 2021, Новосибирск. – 2021. – С. 43.
137. Шиманский Р.В., Корольков В.П., Белоусов Д.А., Хомутов В.Н., Шиманский В.К. Система записи и контроля микрорельефа низкочастотных многоуровневых рельефно-фазовых элементов // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ–2021): сб. трудов по материалам VII Международной конференции и молодежной школы (г. Самара, Россия, 20–24 сентября, 2021): в 3 т. – Т. 1. – С. 13572.
138. Шиманский Р.В., Костяничников А.Ю., Куц Р.И., Белоусов Д.А., Корольков В.П. Применение оптической дифрактометрии для контроля погрешности изготовления прецизионных оптических элементов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XVII Международная выставка и научный конгресс (г. Новосибирск, Россия, 19–21 мая, 2021): Сборник материалов в 8 т. – 2021. – Т. 8: СибОптика–2021. Актуальные вопросы высокотехнологичных отраслей. – С. 223–228. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-8-223-228.
139. Янголь О.Д. Исследование механизмов конфигурирования для процесс-ориентированных языков // МНСК-2021: Информационные технологии: материалы 59-й Международной научной студенческой конференции (г. Новосибирск, Россия, 12–23 апреля, 2021). – С. 36.
140. [Atutov S.N.](#), Sorokin V.A. Effects of size and dimension in optic relaxation in Rb vapor // Modern problems of laser physics (MPLP–2021): IX International Symposium (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2021): technical digest. – P. 146–148. – DOI 10.54041/9785859571864.
141. Babin S.A., Kuznetsov A.G., Sidelnikov O.S., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Wabnitz S. Mechanism of brightness enhancement in multimode LD-pumped graded-index fiber Raman lasers // Advanced Solid State Lasers (ASSL.LAC) (Washington, USA, October 3–7, 2021) (OSA Technical digest). – 2021. – P. JM3A (2 p.).
142. Babin S.A., Kuznetsov A.G., Wolf A.A., Skvortsov M.I., Dostovalov A.V., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Wabnitz S. Fiber lasers with regular and random distributed feedback // Optical Fiber Communication Conference and Exhibition (OFC) (San Francisco, USA, June 6–11, 2021): Proceedings. – 2021. – P. 9489402.
143. Bagishev A., Titkov A.I., Vorobyev A.M., Borisenko T.A., Bessmeltsev V.P., Katsanov D.N., Nemudry A. Development of composite electrode materials based on nickel oxide for additive manufacturing of fuel cells // MATEC Web of Conferences. – 2021. – Vol. 340: VII International Russian-Kazakhstan conference "Chemical

- technologies of functional materials" (RKFM 2021) (Novosibirsk, Russia, April 28–30, 2021). – P. 01054. – DOI 10.1051/mateconf/202134001054.
144. Bashev V., Rozov A.S., Zyubin V.E. PoST2ST: a Web service for translating poST programs to the IEC 61131-3 structured text // International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2021. – Vol. 2021–June: 22nd IEEE International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Souzga, the Altai Republic, Russia 30 June – 4 July, 2021). – P. 9507695. – P. 520–523. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507695.
 145. Bastrykina A., Zyubin V.E., Rozov A.S. Developing Reflex IDE kernel with Xtext framework // Там же. – P. 9507663. – P. 511–514. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507663.
 146. Borzov S.M., Potaturkin O.I. Processing of data streams in the detection of retroreflective objects // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Vol. 3006: Proceedings of the All-Russian Conference With International Participation "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM-2021) (Novosibirsk, Russia August 24–27, 2021). – P. 24–31. – DOI 10.25743/SDM.2021.69.25.005.
 147. Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Okotrub K.A., Kuchmizhak A.A., Korolkov V.P., Babin S.A. Formation of thermochemical laser-induced periodic structures on titanium films in a nitrogen-rich atmosphere // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 11892: Advanced laser processing and manufacturing V. – P. 11892OW (7 p.). – DOI 10.1117/12.2601459.
 148. Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Wolf A.A., Babin S.A. Influence of Parameters of FBG Array Inscribed in a Multicore Optical Fiber on the Accuracy of Shape Reconstruction of a Flexible Medical Instrument // OSA Sensors and Sensing Congress (July 19 – 23, 2021): OSA Virtual Event. – 2021. – Art. SM2A.3 (2 p.). – DOI 10.1364/SENSORS.2021.SM2A.3.
 149. Bronnikov K.A., Dostovalov A.V., Okotrub K.A., Korolkov V.P., Babin S.A. Formation of thermochemical laser-induced periodic surface structures on zirconium films by focused femtosecond laser beam // OSA Technical Digest. Conference on Lasers and electro-optics – Europe & European quantum electronics conference (CLEO-Europe/EQEC 2021) (June 21–25, 2021): virtual meeting. – P. CM-P.19 FRI. – P. 173. – DOI 10.1109/CLEO/Europe-EQEC52157.2021.9542552.
 150. Budarnykh A.E., Lobach I.A., Smolyaninov N.N. Automatic control of the tuning parameters of a self-sweeping Tm-doped fiber laser // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 11901: Advanced sensor systems and applications XI. – P. 11901OM (7 p.). – DOI 10.1117/12.2602068.
 151. Chen Y., Fan C., Yao T., Xiao H., Xu J., Leng J., Zhou P., Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Comparison of multi-mode GRIN-fiber Raman lasers with FBG and random DFB cavity // 29th Annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'21) (July 19–23, 2021), virtual. – 2021. – P. S8.2.1.
 152. Chernenko I., Anureev I.S., Garanina N.O. Proving Reflex program verification conditions in coq proof assistant // International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2021. – Vol. 2021–June: 22nd

- IEEE International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Souzga, the Altai Republic, Russia 30 June – 4 July, 2021). – P. 9507628. – P. 485–488. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507628.
153. Dostovalov A.V., Bronnikov K.A., Kuchmizhak A.A., Terentiev V.S., Okotrub K.A., Korolkov V.P., Babin S.A. Thermochemical LIPSS formation on Ti, Hf films at various ambient atmospheres // V International Conference on Ultrafast Optical Science “UltrafastLight–2021” (Moscow, October 4–8, 2021). Book of Abstracts. – P. 80.
 154. Dostovalov A.V., Skvortsov M.I., Wolf A.A., Labuntsov V.I., Egorova O., Semjonov S., Wabnitz S., Babin S.A. Raman fiber laser based on a 7-core fiber with fs-inscribed regular and random structures // OSA Technical Digest. Conference on Lasers and electro-optics – Europe & European quantum electronics conference (CLEO-Europe/EQEC 2021) (June 21–25, 2021): virtual meeting. – P. 136. – DOI 10.1109/CLEO/Europe-EQEC52157.2021.9542363.
 155. Drobyshch R.V., Poddubrovskii N.R., Lobach I.A., Kablukov S.I. Self-sweeping Yb-doped fiber laser generating ultra-long single-frequency pulses // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 11890: Advanced lasers, high-power lasers, and applications XII. – P. 11890OZ (8 p.). – DOI 10.1117/12.2602718.
 156. Dvinianin A., Liakh T.V. Debugging Reflex-Programs on Digital Plant Models // Proceedings of the International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021 (Sochi, Russian Federation, September 5–11, 2021). – P. 9537401. – P. 618–622. – DOI 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537401.
 157. Ezhov D.M., Bychkova S.A., Maximov L.V., Nikolaev N.A., Svetlichnyi V.A., Losev V.F., Andreev Y. M. Dielectric properties of BiB3O6 crystal in the sub-THz range // 46th International conference on infrared, millimeter and terahertz waves (IRMMW-THz) (Chengdu, China, 29 Aug. – 3 September, 2021). – DOI 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567351.
 158. Ezhov D.M., Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Andreev Yu. M. Detailed study on optical properties of Li₂B₄O₇ for down conversion to millimeter waves // Pulsed lasers and laser applications (AMPL-2021): abstracts of XV International conference (Tomsk, Russia, September 12–17, 2021). – Art. Y-37. – P. 30.
 159. Ezhov D.M., Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Andreev Yu. M. Detailed study on optical properties of Li₂B₄O₇ for down-conversion to millimeter waves // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 12086: XV International conference on pulsed lasers and laser applications. – P. 1208626. – DOI 10.1117/12.2612528.
 160. Frumin L.L. Levinson type algorithms for solving scattering problems for the Manakov model of nonlinear Schroedinger equations // International conference Marchuk scientific readings 2021 (Novosibirsk, Russia, October 4–8, 2021). – P. 42.
 161. Garanina N., Koznov D. Static Checking Consistency of Temporal Requirements for Control Software // Advances in Model and Data Engineering in the Digitalization Era: MEDI 2021 International Workshops: DETECT, SIAS, CSMML, BIOC, HEDA (Tallinn, Estonia, June 21–23, 2021). Proceedings. – 2021. – P. 189–203. – DOI 10.1007/978-3-030-87657-9_15.
 162. Gelash A., Mullyadzhanov R. Solitons in a box-shaped wavefield with noise: perturbation theory and statistics // EGU21-13742 / EGU General Assembly 2021 (Vienna, Austria, online, 19–30 Apr 2021) (1 p.). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13742>.

163. Gelash A. Complex interactions of wave breathers // Scientific School "Nonlinear Waves 2021" (Chnogolovka, 29 November – 3 December, 2021) http://www.itp.ac.ru/Nonlinear_Waves_2020/andrey-gelash-phd-institute-of-automation-and-electrometry-sb-ras-skoltech/
164. Gervaziev M.D., Zhdanov I.S., Kharenko D.S., Podivilov E.V., Babin S.A., Wabnitz S. Mode dynamics during transition into Kerr self-cleaning regime for laser beams propagated in a multimode GRIN fiber // OSA Technical Digest. Conference on Lasers and electro-optics – Europe & European quantum electronics conference (CLEO-Europe/EQEC 2021) (June 21–25, 2021): virtual meeting. P. EF-P.3 THU. – P. 141. – DOI 10.1109/CLEO/Europe-EQEC52157.2021.9542580.
165. Gornev I., Liakh T.V. RIDE: Theia-based Web IDE for the Reflex language // International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2021. – Vol. 2021–June: 22nd IEEE International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Souzga, the Altai Republic, Russia 30 June – 4 July, 2021). – P. 9507678. – P. 503–506. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507678.
166. Gribanov A.V., Nikolaev G.N., Mosin M., Yakovin D.V., Yakovin M.D. Fluorescence quantum efficiency of $Ti^{3+} : Al_2O_3$ at cryogenic temperatures and excitation by laser diodes // Modern problems of laser physics (MPLP–2021): IX International Symposium (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2021): technical digest. P. 169–170. – DOI 10.54041/9785859571864 (на весь сборник).
167. Gudko A., Gelash A., and Mullyadzhyanov R. High-orders methods and high-precision arithmetics make direct scattering transform for the Korteweg-De Vries equation robust. EGU21-1730 // EGU General Assembly 2021 (Vienna, Austria, online, April 19–30, 2021) (1 p.).
168. Gurova T.A., Dubrovskaja O.A., Elkin O.V., Maximov L.V., Pestunov I.A., Altukhov V.G. Detection of spring wheat plants affected by powdery mildew using hyperspectral survey data // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Vol. 3006: Proceedings of the All-Russian Conference With International Participation "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM–2021) (Novosibirsk, Russia, August 24–27, 2021). – P. 89–94.
169. Il'ichov L.V., Rostom A.M., Shepelin A.V., Tomilin V.A. Multiworld Motives by Closed Time-like Curves // XXII International Scientific Conference Physical Interpretations of Relativity Theory – 2021 (PIRT-2021) (Moscow, July 5–9, 2021). Abstracts, Bauman Moscow State Technical University, 2021, P. 48–49. <http://www.pirt.info/files/blocks/PIRT-2021/documents/PIRT-2021%20Abstracts.pdf>
170. Kamynin V., Wolf A.A., Skvortsov M.I., Filatova S., Kopyeva M., Tsvetkov V., Babin S.A. Distributed Temperature Measurements in Holmium-doped Fiber Lasers // OSA Technical Digest. Conference on Lasers and electro-optics – Europe & European quantum electronics conference (CLEO-Europe/EQEC 2021) (June 21–25, 2021): virtual meeting. – P. CJ-P.8 THU. – P. 143.
171. Kharenko D.S., Gervaziev M.D., Kuznetsov A.G., Wabnitz S., Podivilov E.V., Babin S.A. Mode decomposition of output beams in LD-pumped graded-index fiber Raman lasers // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 11890: Advanced lasers, high-power lasers, and applications XII. – P. 118901B (7 pp.). – DOI 10.1117/12.2601512.

172. Kharenko D.S., Gervaziev M.D., Zhdanov I., Podivilov E.V., Babin S.A., Wabnitz S. Mode decomposition of Kerr self-cleaned beams by phase only SLM // *Tam zhe*. – Vol. 11671: Real-time Measurements, Rogue Phenomena, and Single-Shot Applications VI, SPIE LASE, 2021, Online Only. – P. 1167105. – DOI 10.1117/12.2578240.
173. Khomutov V.N., Shimansky R.V., Nasyrov R.K., Korolkov V.P. Principles of operation and prospects for the development of laser lithographic systems for the synthesis of optical elements // *Tam zhe*. – Vol. 11875: Computational Optics 2021, 13–17 September 2021, Virtual, Online. – P. 1187500. – DOI 10.1117/12.2597050.
174. Komarov A., Zhao L., and Sanchez F. Formation mechanism of color domains in fiber lasers // Hubei Association for Science and Technology Home Program “International Forum on Laser Advanced Manufacturing” (Wuhan, China, 6 November, 2021). – P. 14. <https://live.photoplus.cn/live/pc/56415309/#/live>
175. Korganbayev S., Orrico A., Bianchi L., DeLandro M., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Saccomandi P. Feedback-controlled thermal therapy of tissues based on fiber Bragg grating thermometers // IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications, MeMeA 2021 (Lausanne, Virtual, June 23–25, 2021). – 9478749. – DOI: 10.1109/MeMeA52024.2021.9478749.
176. Korolkov V.P., Konoshenko P.E., Mikerin S.L., Belousov D.A., Malychev A.I., Golubtsov S.K. Development of method for measuring a light energy distribution over foci mould of diffractive component of bifocal intraocular lens // *Proceedings of SPIE*. – 2021. – Vol. 11873: Optical fabrication, testing, and metrology VII. – P. 118730G. – DOI 10.1117/12.2597112.
177. Korolkov V.P., Kutz R.I., Malyshev A.I., Belousov D.A., Matochkin A.E. Usage of dry processes for the formation of diffractive structures on Ti and Ti/Si films // *Tam zhe*. – P. 1187307. – DOI 10.1117/12.2597162.
178. Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Khomutov V.N., Belousov D.A., Kutz R.I. Development of methods for the formation and control of a given distribution of the photoresist thickness for conformal correctors fabrication // *Tam zhe*. – Vol. 11895: Optical design and testing XI. – Art. 118951J. – DOI 10.1117/12.2604808.
179. Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Sedukhin A.G., Belousov D.A., Kutz R.I. Sectorized variable duty cycle $f/1$ diffractive transmission sphere for compensation of negative diffractive effects // *Tam zhe*. – Vol. 11895: Optical design and testing XI. – P. 118951D (7 p.). – DOI 10.1117/12.2604810.
180. Kosykh V.P., Gromilin G.I., Yakovenko N.S. Joint processing of images in two spectral channels for small objects detecting // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2021. – Vol. 3006: Proceedings of the All-Russian Conference With International Participation "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM-2021) (Novosibirsk, Russia August 24–27, 2021). – P. 142–151.
181. Kotov K.Yu., Prishlyak E.E., Sobolev M.A., Maltsev A.S. Research complex for unmanned autonomous vehicles control systems // 2021 IEEE 15th International conference of actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) (Novosibirsk, Russia, November 19–21, 2021). P. 422–425. – DOI 10.1109/APEIE52976.2021.9647660.
182. Kozik V.I., Nezhevenko E.S. Selection of features system and network parameters for hyperspectral images classification using convolutional neural networks // *CEUR*

- Workshop Proceedings. – 2021. – Vol. 3006: Proceedings of the All-Russian Conference With International Participation "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM-2021) (Novosibirsk, Russia, August 24–27, 2021). – P. 152–160.
183. Krasionov I., Il'ichov L.V. Noise-based quantum optical gyrometry // Modern problems of laser physics (MPLP-2021): the IX International symposium (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2021): technical digest. – 2021. – P. 108. – DOI 10.54041/9785859571864.
 184. Kugaevskikh A. Research of a Neuron Model with Signal Accumulation for Motion Detection // 2021 Third International Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN) (Kaliningrad, Russia): IEEE, 2021. – P.46–49. – DOI: 10.1109/CNN53494.2021.9580340.
 185. Kuzakov D., Lavrentiev M., Marchuk An. Toward the optimization of measurement system for tsunami warning // Proceedings of the Global Oceans 2021: San Diego – Porto, In Person & Virtual (September 20–23, 2021), Town and County San Diego (4 p.).
 186. Kuznetsov S.A., Gelfand A.V., Mamrashev A.A., Minakov F.A., Nikolaev N.A. High-performance metal-grid polarizers on polymeric films for broadband terahertz spectroscopy // 46th International conference on infrared, millimeter and terahertz waves (IRMMW-THz) (Chengdu, China, 29 August – 3 September, 2021) (2 p.). – DOI 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567316.
 187. Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Babin S.A. Multimode diode-pumped graded-index fiber Raman laser with pulsed generation in all-fiber scheme // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 11890: Advanced lasers, high-power lasers, and applications XII. – P. 118901A (6 p.). – DOI 10.1117/12.2601490.
 188. Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Mechanisms of beam clean up at Raman conversion of multimode radiation in graded-index fibers // Там же. – Vol. 11670: Nonlinear Frequency Generation and Conversion: Materials and Devices XX, SPIE LASE, 2021, Online Only. – P. 116700K DOI 10.1117/12.2577685.
 189. Kuznetsov S.A., Nikolaev N.A., Utkin D., Peng Y., Cherkasova O. Terahertz nano-antenna sensors for detection of 2-hydroxyglutarate isomers in biological samples // 46th International conference on infrared, millimeter and terahertz waves (IRMMW-THz) (Chengdu, China, 29 August – 3 September, 2021) (1 p.). – DOI 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567157.
 190. Lavrentiev M., Marchuk An., Oblaukhov K., Shadrin M. The wavelength influence on tsunami height in Seto Inland Sea // Proceedings of the Global Oceans 2021: San Diego – Porto, In Person & Virtual: Town and County San Diego (September 20–23, 2021). P. 1–5. – DOI 10.23919/OCEANS44145.2021.9705819.
 191. Lubenko D.M., Nikolaev N.A., Ezhov D.M., Andreev Yu.M., Losev V.F. The efficiency of THz wave generation in b-BBO under visible and IR fs pulse pump // Pulsed lasers and laser applications (AMPL-2021): abstracts of XV International conference (Tomsk, Russia, September 12–17, 2021). – Art. F-4. – P. 103.
 192. Lukianov M.Y., Ahmed A.G., Bush A.A., Prokhorov A.S., Abalmasov V.A., Anzin V.B., Gorshunov B.P., Alyabyeva L.N. Terahertz soft mode in Ba-Pb M-type hex-

- aferrite ceramics // 46th International conference on infrared, millimeter and terahertz waves (IRMMW-THz) (Chengdu, China, Aug. 29 – Sept. 3, 2021). – DOI 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567545.
193. Maiti K.S., Fill E., Strittmatter F., Volz Y., Sroka R., Apolonski A.A. Accurate diagnosis of prostate cancer via infrared spectroscopy of breath // Optics InfoBase Conference Papers. – 2021. – European Conference on Biomedical Optics (Munich, Germany, June 20–24, 2021). – P. ETu1A.3.
 194. Mamrashev A.A., Minakov F.A., Nikolaev N.A., Antsygin V.D. Simultaneous measurements of broadband terahertz properties of crystals along two axes // 46th International conference on infrared, millimeter and terahertz waves (IRMMW-THz) (Chengdu, China, 29 August – 3 September, 2021). – DOI 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567559. P. 1–2.
 195. Mullyadzhyanov I., Mullyadzhyanov R., Gelash A. Efficient Fourier-collocation method for full scattering data of Zakharov-Shabat periodic problem // EGU21-1720 / EGU General Assembly 2021 (Vienna, Austria, online, 19–30 Apr 2021) (14 p.). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-1720>
 196. Mykhaylov P., Vyatkin S., Chekhmestruk R., Perun I. Method of Rotation and Arbitrary Movement with Scaling of Functionally Defined Objects // 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2021 (Deggendorf, Germany, September 15–17, 2021). – P. 188–194. – DOI 10.1109/ACIT52158.2021.9548605.
 197. Mykhaylov P., Vyatkin S., Chekhmestruk R., Perun I. Multi-Volume Data Visualization Using Bounding Shells / P. Mykhaylov, S. Vyatkin, R. Chekhmestruk, I. Perun // Там же. – P. 195–199. – DOI 10.1109/ACIT52158.2021.9548400.
 198. Mykhaylov P., Vyatkin S., Chekhmestruk R., Perun I., Korobeinikova T. 3D Shape Modeling Using Perturbation Functions // Там же. – P. 176–181. – DOI 10.1109/ACIT52158.2021.9548436.
 199. Mykhaylov P., Vyatkin S., Chekhmestruk R., Perun I., Korobeinikova T., Mychuda L. Method for Compressing Volume Data Using Perturbation Functions // Там же. – P. 169–175. – DOI 10.1109/ACIT52158.2021.9548381.
 200. Mykhaylov P., Vyatkin S., Chekhmestruk R., Perun I., Korobeinikova T. Interactive Volume Rendering Method Using a 3D Texture // Там же. – P. 182–187. – DOI 10.1109/ACIT52158.2021.9548629.
 201. Nah S., Svitov D., Pakulich D. NTIRE 2021 Challenge on Image Deblurring // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW) (Nashville, TN, USA, June 19–25, 2021). – P. 149–165. – DOI 10.1109/CVPRW53098.2021.00025.
 202. Nemov I.N., Kuznetsov A.G., Wolf A.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Highly-reflecting fiber Bragg gratings for multimode fiber Raman lasers // Modern problems of laser physics (MPLP–2021): IX International Symposium (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2021): technical digest. P. 121–122. – DOI 10.54041/9785859571864.
 203. Nikolaev G.N., Mikerin S.L. Theoretical bases of combined nonlinear optical demodulator-amplifier for broadband microwave photonics systems // Там же. – P. 125–126. – DOI 10.54041/9785859571864.
 204. Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Antsygin V.D., Ezhov D.M., Lubenko D.M., Svetlichnyi V.A., Andreev Yu.M., Losev V.F. The dielectric tensor rotation angle and optical properties of a nonlinear crystal of bismuth triborate in the millimeter-wave

- range // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 12086: XV International conference on pulsed lasers and laser applications. – P. 120861A (5 p.). – DOI 10.1117/12.2613758.
205. Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Antsygin V.D., Ezhov D.M., Lubenko D.M., Svetlichnyi V.A., Andreev Yu.M., Losev V.F. The dielectric tensor rotation angle and optical properties of a nonlinear crystal of bismuth triborate in the millimeter wave range // Pulsed lasers and laser applications (AMPL-2021): abstracts of XV International conference (Tomsk, Russia, September 12–17, 2021). – Art. F-10. – P. 106.
 206. Nikolaev N.A., Mamrashev A.A., Antsygin V.D., Ezhov D., Lubenko D., Svetlichnyi V., Andreev Yu., Losev V. The optical properties of a nonlinear crystal of bismuth triborate in the terahertz range // Modern problems of laser physics (MPLP-2021): IX International Symposium (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2021): technical digest. – P. 126. – DOI 10.54041/9785859571864.
 207. Okotrub K., Mokrousova V., Amstislavsky S., Surovtsev N. Changes in the redox state of cytochromes in mouse embryos during cooling with different cryopreservation protocols // CRYO2021 (virtual meeting, July 20–23, 2021). – P. 113.
 208. Okotrub K., Okotrub S., Amstislavsky S., Surovtsev N. Study of the lipid phase transition in cat oocytes using Raman spectroscopy of deuterium labeled lipids // Там же. – P. 52.
 209. Okotrub K.A., Ranneva S.V., Mokrousova V.I., Amstislavsky S.Y., Surovtsev N.V. Study of lipid phase transition in mammalian oocytes using Raman spectroscopy of isotopically labeled lipids // Biophysical Society 65th Annual Meeting (February 22–26, 2021), L1946-Pos, Board LB55.
 210. Parygin A. Control Software for Formation of Heterogeneous Structures in Optical Fiber // Proceedings of the International Russian Automation Conference (RusAuto-Con 2021) (Sochi, Russia, September 5–11, 2021). – P. 9537442. – P. 800–805. – DOI 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537442.
 211. Poddubrovskii N.R., Lobach I.A., Kablukov S.I. Self-sweeping Er-doped ring fiber laser // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 11890: Advanced lasers, high-power lasers, and applications XII. – P. 11890OF (9 p.). – DOI 10.1117/12.2602684.
 212. Ponomarenko A.A., Garanina N.O., Staroletov S.M., Zyubin V.E. Towards the translation of Reflex programs to promela: model checking wheelchair lift software // International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2021. – Vol. 2021–June: 22nd IEEE International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Souzga, the Altai Republic, Russia 30 June – 4 July, 2021). – P. 9507563. – P. 493–498. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507563.
 213. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. Enhancing the spatial resolution of digital images using circular scanning // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Vol. 2984: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, ITAMS 2021 (Irkutsk, Russia, 14 September, 2021). – P. 49–54.
 214. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. Improving the spatial resolution of digital images and video sequences using subpixel scanning // Там же. – Vol. 3006: Proceedings of the All-Russian Conference With International Participation "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM-2021) (Novosibirsk, Russia, August 24–27, 2021). – P. 238–245.

215. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. On the statistics of anomalous clumps in random point images // Там же. – P. 246–251.
216. Reznik A.L., Soloviev A.A., Torgov A.V. Physically realizable algorithms for the localization of random pulse-point sources // Там же. – P. 252–259.
217. Rybak A.A., Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A. Temperature dependence optical properties of KTP crystals in the millimeter wavelength range // Pulsed lasers and laser applications (AMPL-2021): abstracts of XV International conference (Tomsk, September 12–17, 2021). – Art. F-12. – P. 107–108.
218. Rybak A.A., Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A. Temperature dependence optical properties of KTP crystals in the terahertz range // Modern problems of laser physics (MPLP-2021): IX International Symposium (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2021): technical digest. P. 180. – DOI 10.54041/9785859571864.
219. Saprykin E.G., Chernenko A.A. Effects of magnetic coherence on transitions with level momenta $J = 1/2$ and $J = 1$ in unidirectional wave spectroscopy // Там же. – P. 86.
220. Shelkovnikov V.V., Mikerin S.L., Simanchuk A.E., Chubakov P.A., Korotaev S.V., Orlova N.A., Berezhnaya V.N., Kargapolova I.Yu., Ischenko R.A., Ryazanov N.D. New organic nonlinear optical materials based on polycarbonate films with dendronized polyfluorotriphenylpyrazoline-dicyanoisophorone chromophores // Там же. – P. 117–118.
221. Shevchenko O.N., Nikolaev N.A., Kokh K.A. Detection of THz waves in GaSe:S crystals by femtosecond radiation with a wavelength of 1.5 microns // Там же. – P. 143.
222. Shevchenko O.N., Nikolaev N.A., Kokh K.A. Detection of THz waves in GaSe:S crystals by femtosecond radiation with a wavelength of 1.5 microns // Pulsed lasers and laser applications (AMPL-2021): abstracts of XV International conference, (Tomsk, Russia, September 12–17, 2021). – Art. F-6. – P. 104.
223. Sinko A.A., Ozheredov I.A., Solyankin P.M., Kargovsky A.V., Manomenova V.L., Rudneva E.B., Kozlova N.N., Sorokina N.I., Kuznetsov S.A., Minakov F.A., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Voloshin A.E., Shkurinov A.P. Terahertz dielectric properties of guanylurea hydrogen phosphite crystal // 46th International conference on infrared, millimeter and terahertz waves (IRMMW-THz) (Chengdu, China, 29 August – 3 September, 2021) (2 p.). – DOI 10.1109/IRMMW-THz50926.2021.9567236.
224. Shimansky R.V., Belousov D.A., Kuts R.I., Korolkov V.P. Controlling the accuracy of fabricating computer-generated holograms on circular and X-Y laser writing systems // Proceedings SPIE. – 2021. – Vol. 11871: Optical design and engineering VIII. – P. 118710I (9 pp.). – DOI 10.1117/12.2597134.
225. Shimansky R.V., Korolkov V.P., Belousov D.A., Kuts R.I. Diffraction method for estimation of positioning errors that occurred during the writing of computer-generated holograms // Там же. Vol. 11895, Optical Design and Testing XI (9 October 2021). – P. 118951B (7 p.) (<https://doi.org/10.1117/12.2604292>).
226. Skvortsov M.I., Labuntsov V.I., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Babin S.A. Seven-core fiber Raman laser with fs-inscribed random structures // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 11773: Micro-structured and specialty optical fibers VII. – P. 11773OH. – DOI 10.1117/12.2592527.

227. Skvortsov M.I., Wolf A.A., Egorova O.N., Semjonov S.L., Proskurina K.V., Dostovalov A.V., Vlasov A.A., Churin A.E., Babin S.A. Narrow-linewidth tunable Er-doped fiber laser based on fs-pulse-inscribed artificial Rayleigh reflector // OSA Frontiers in optics + Laser science conference (October 31 – November 4, 2021). – P. JT1A.92.
228. Skvortsov M.I., Wolf A.A., Fomiryakov E.A., Treshchikov V.N., Nikitin S.P., Vlasov A.A., Dostovalov A.V., Babin S.A. Er-doped fiber laser with regular and random distributed feedback // 29th Annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'21) (July 19–23, 2021, virtual). – P. S8.2.3.
229. Staroletov S. Automatic proving of stability of the cyber-physical systems in the sense of Lyapunov with KeYmaera // 28th Conference of Open Innovations Association FRUCT (Moscow, Russia, January 27–29, 2021, virtual). – P. 9347586. – DOI 10.23919/FRUCT50888.2021.9347586.
230. Staroletov S. Work-in-Progress abstract: Revealing and analyzing architectural models in open-source ardupilot // IEEE 27th International conference on embedded and real-time computing systems and applications (RTCSA 2021) (Houston, TX, USA, August 18–20, 2021). – P. 207–209. – DOI 10.1109/RTCSA52859.2021.00034.
231. Staroletov S., Schulte H., Baar T., Konyukhov I., Shilov N., Rozov A.S., Liakh T.V., Zyubin V.E. Modeling and Verification using Different Notations for CPSs: The One-Water-Tank Case Study // 16th Conference on Computer Science and Intelligence Systems, FedCSIS (Sofia, Bulgaria, September 2–5, 2021, Virtual): Proceedings. – P. 485–488. – DOI 10.15439/2021F98.
232. Sturman B., Podivilov E., and Smirnov S. Frequency combs in $\chi^{(2)}$ microresonators: An overview of theoretical predictions (invited) // Online conference and doctoral school “CHI-2 photonics in microresonators and beyond” (April 13–14, 2021). <https://www.microcomb-eu.org/chi-2-photonics-videos>.
233. Surovtsev N.V. Raman spectroscopy of phospholipid membranes // Abstracts of the 28th International Conference on Advanced Laser Technologies ALT'21 (Moscow, September 6–10, 2021). – C. 158.
234. Surovtseva M., Surovtsev N., Bondarenko N.A., Kim I., Lykov A., Poveshchenko O. Survival and Proliferation of Bone Marrow Derived Mesenchymal Stem Cells Under 532 nm Laser Irradiation // IEEE Ural-Siberian Conference on Computational Technologies in Cognitive Science, Genomics and Biomedicine (CSGB) (July 4–8, 2021). P. 160–163.
235. Titkov A.I., Malbakhova I.A., Borisenko T.A., Vorobyev A.M., Logutenko O.A., Baev S.G., Bessmeltsev V.P. Features of the formation of conductive films during thermal and laser sintering of silver nanoparticles stabilized by an ethoxylated carboxylic acid // MATEC Web of Conferences. – 2021. – Vol. 340: VII International Russian-Kazakhstan conference "Chemical technologies of functional materials" (PKFM 2021) (Novosibirsk, Russia, April 28–30, 2021). – P. 01043 (15 p.). – DOI 10.1051/mateconf/202134001043.
236. Vladimirskaya A.D., Lobach I.A., Kablukov S.I. Broad-range self-sweeping linearly polarized Ho-doped fiber laser // Optics InfoBase Conference Papers. – 2021. – CLEO: Science and Innovations (San Jose, California, United States May 9–14, 2021). – P. JW1A.121. P. 9572625. – DOI 10.1364/CLEO_AT.2021.JW1A.121.
237. Vladimirskaya A.D., Lobach I.A., Kablukov S.I., Kamynin V.A. Broad-range self-sweeping Ho-doped fiber laser for N2O spectroscopy tasks // Proceedings of SPIE.

- 2021. – Vol. 11901: Advanced sensor systems and applications XI. – P. 11901OH (9 p.). – DOI 10.1117/12.2601428.
238. Vyatkin S.I., Romanyuk O.N., Khoshaba O.M., Romanyuk S.O., Romanyuk O.V., Filipishyn I.V., Vovchasta N.Ya., Wojcik W., Kalizhanova A., Smailova S., Mussabekova A. Modeling the passage of light through surfaces and volumes // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 12040: Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2021 (WILGA 2021), 31 May – 1 June 2021, Warsaw, Poland. – P. 1204007. – DOI: 10.1117/12.2617356.
239. Zhdanov I.S., Volosi V.M., Kharenko D.S. Tunable highly chirped dissipative soliton erbium fiber source // 29th Annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'21) (July 19–23, 2021, virtual). – P. S8.1.2.
240. Zhdarkin E., Anureev I.S. Development and verification of smart-contracts for the scientificCoin platform // International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2021. – Vol. 2021–June: 22nd IEEE International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Souzga, the Altai Republic, Russia 30 June – 4 July, 2021). – P. 9507717. – P. 528–532. – DOI 10.1109/EDM52169.2021.9507717.
241. Zitelli M., Ferraro M., Mangini F., Leggio L., Kharenko D.S., Niang A., Tonello A., Couderc Vi., Hansson T., Wabnitz S. Spatiotemporal guided bullets in multimode fiber // Proceedings of SPIE. – 2021. – Vol. 11670: Nonlinear Frequency Generation and Conversion: Materials and Devices XX, SPIE LASE, 2021, Online Only. – P. 1167018. – DOI 10.1117/12.2578222.
242. Zykova V.A., Surovtsev N.V., Zhuravleva I.Yu. Brillouin spectroscopy as a method for characterizing xenogenic collagen-containing tissues // 5-th BioBrillouin Meeting (Vienna, October 13–14, 2021). – P. 24–25.
243. Zyubin V.E., Rozov A.S. Using Process-Oriented Structured Text for IEC 61499 Function Block Specification // Advances in Model and Data Engineering in the Digitalization Era: MEDI 2021 International Workshops: DETECT, SIAS, CSMML, BIOC, HEDA (Tallinn, Estonia, June 21–23, 2021): Proceedings. – 2021. – P. 217–227. – DOI 10.1007/978-3-030-87657-9_17.

6.4. АВТОРЕФЕРАТЫ

1. Голошевский Н.В. Методы и программно-аппаратные средства управления устройствами лазерной микрообработки с комплементарной системой позиционирования: дисс. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2021. 23 с.

6.5. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

Патенты

1. Нанолитограф: пат. 204171 Рос. Федерация на полезную модель. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., опубл. 13.05.2021; Бюл. № 14, 2 с.
2. Оптико-акустический приемник инфракрасного и ТГц излучения: пат. 2746095 Рос. Федерация на изобретения. Гибин И.С., Котляр П.Е., опубл. 06.04.2021; Бюл. № 10, 2 с.

3. Устройство для измерения малых разностей температур: пат. 2760923 Рос. Федерация на изобретения. Лубков А.А., Попов Ю.А., опубл. 01.12.2021; Бюл. № 34, 2 с.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

1. Громилин Г.И., Косых В.П. Программа оценивания отклонения скорости сканирования в устройстве с многорядным фотоприемником по произвольному изображению // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2021610008, зарег. 11.01.2021; Бюл. № 1.
2. Громилин Г.И., Косых В.П., Яковенко Н.С. Программа оценки трёхмерных координат центра роговицы и точки прицеливания в системе определения направления взгляда // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2021612657; зарег. 20.02.2021; Бюл. № 2.
3. Громилин Г.И., Яковенко Н.С. Программа имитационного моделирования входных воздействий матричных фотоприёмных устройств // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2021611242; зарег. 25.01.2021; Бюл. № 2.
4. Долговесов Б.С., Мазурок Б.С. Модуль отслеживания параметров съёмочной видеокамеры и объектов съёмки в задачах автоматической и полуавтоматической передачи данных с помощью управляемых PTZ-видеокамер // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2021614827; зарег. 30.03.2021; Бюл. № 4.
5. Косых В.П., Громилин Г.И. Программа нахождения центра зрачка в системе определения направления взгляда при ИК освещении лица // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2021612786; зарег. 25.02.2021; Бюл. № 3.

6.6. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. Nemykin A.V., Frumin L.L., Shapiro D.A. Light scattering by a subwavelength plasmonic array: anisotropic model // <http://arxiv.org/abs/2111.10517>

6.7. НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ СТАТЬИ И СБОРНИКИ

1. Арсеев П.И., Виноградов Е.А., Кведер В.В., Литасов К.Д., Муртазаев А.К., Пудалов В.М., Рыжов В.Н., Садовский М.В., Стрельцов С.В., Сурис Р.А., Суворцев Н.В., Щербаков И.А. Вадим Вениаминович Бражкин (к 60-летию со дня рождения) // *Успехи физических наук.* – 2021. – Т. 191, № 10. – С. 1127–1128. – DOI: 10.3367/UFN.2021.09.039058.
2. Багаев С.Н., Забродский А.Г., Задков В.Н., Каплянский А.А., Кведер В.В., Колачевский Н.Н., Месяц Г.А., Наумов А.В., Салихов К.М., Сурис Р.А., Шалагин А.М., Щербаков И.А. Евгений Андреевич Виноградов (к 80-летию со дня рождения) // Там же. – С. 1125–1126. – DOI: 10.3367/UFN.2021.09.039072.
3. Балегга Ю.Ю., Жеребцов Г.А., Кульчин Ю.Н., Кведер В.В., Латышев А.В., Литвак А.Г., Матвеев В.А., Месяц Г.А., Нигматулин Р.И., Ратахин Н.А., Сергеев

- А.М., Шалагин А.М. Сергей Николаевич Багаев (к 80-летию со дня рождения) // Там же. – С. 1123–1124. – DOI: 10.3367/UFNг.2021.09.039056.
4. Гибин И.С., Гилева Е.В., Пономарев В.Б. Ищу дальних корреспондентов // Выпускники – гордость университета: к 70-летию НГТУ НЭТИ. – 2021. – С. 97–105. – УДК 001(092).
 5. Институт автоматки и электрометрии в 2020 году: отчет о деятельности / Ин-т автоматки и электрометрии СО РАН; отв. за вып. Е.И. Донцова. – Новосибирск : [б. и.], 2021. – 133 с. : ил. – 100 экз. – ISBN 978-5-6046428-7-0: Б.ц.
 6. Малиновский В.К. Начало... Продолжение // Академик Э.П. Кругляков – ученый и гражданин. – 2021. – С. 35–36. УДК 53(092) + 001(092).
 7. Сергеев А.М., Балеха Ю.Ю., Андреев А.Ф., Гаранин С.Г., Забродский А.Г., Зелёный Л.М., Крохин О.Н., Кульчин Ю.Н., Конов В.И., Литвак А.Г., Мясц Г.А., Рубаков В.А., Сурис Р.А., Хомич В.Ю., Щербаков И.А., Шалагин А.М., Гарнов С.В., Колачевский Н.Н., Бабин С.А., Кочаровский В.В. К 80-летию Сергея Николаевича Багаева // Квантовая электроника. – 2021. – Т. 51, № 10. – С. 958. – DOI: 10.1070/QEL17636.

6.8. ПУБЛИКАЦИИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В ОТЧЕТ 2020 ГОДА

СТАТЬИ

Научные журналы

1. Гаранина Н.О., Ануреев И.С., Зюбин В.Е., Старолетов С.М., Лях Т.В., Розов А.С., Горлач С.П. Темпоральная логика для программируемых логических контроллеров // Моделирование и анализ информационных систем. – 2020. – Т. 27, № 4. – С. 412–427. – DOI 10.18255/1818-1015-2020-4-412-427.
2. Мулляджанов Р., Гелаш А.А. Разложение Магнуса для прямой задачи рассеяния: схемы высокого порядка // Известия вузов. Радиофизика. – 2020. – Т. 63, № 9–10. – С. 874–893. – DOI 10.1007/s11141-021-10096-6.
3. Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Андреев Ю.М., Ежов Д.М., Ланский Г.В., Лубенко Д.М., Киняевский И.О., Солнцев В.П. Оптические свойства и генерация терагерцового излучения в кристалле $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ // Известия вузов. Физика. – 2020. – Т. 63, № 12. – С. 21–24. – DOI 10.17223/00213411/63/12/21.
4. Терентьев В.С., Симонов В.А. Численное моделирование оптических свойств отражательного интерферометра, сформированного в планарной гетероструктуре лазерного диода // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, № 4. – С. 19–36.
5. Babin S.A., Selyunin D.O., Labusov V.A. High-Speed Multichannel MAES Analyzers Based on BLPP-2000 and BLPP-4000 Photodetector Arrays // Inorganic Materials. – 2020. – Vol. 56, № 14. – P. 1431–1435.
6. Feklistov K.V., Lemzyakov A.G., Prosvirin I.P., Gismatulin A.A., Shklyayev A.A., Zhivodkov Y.A., Krivyakin G.K., Komonov A.I., Kozhukhov A.S., Spesivsev E.V., Gulyaev D.V., Abramkin D.S., Pugachev A.M., Esaev D.G., Sidorov G.Yu. Nanowired structure, optical properties and conduction band offset of RF magnetron-deposited n-Si/In₂O₃: Er films // Materials Research Express. 2020. – Vol. 7, № 12. – P. 125903.
7. Pelipasov O.V., Lokhtin R.A., Labusov V.A., Pelevina N.G. Analytical Capabilities of a Grand Spectrometer in Analysis of Solutions Using Inductively Coupled Plasma

- // *Inorganic Materials*. – 2020. – Vol. 56, № 14. – P. 1446–1449. <https://doi.org/10.1134/S0020168520140113>.
8. Semenov A.P., Abdulkadyrov M.A., Dobrikov N.S., Ignatov A.N., Patrikeev V.E., Pridnya V.V., Polyanchikov A.V., Nasyrov R.K. Methods used for testing of large-size mirrors surface figure and on and off-axis surfaces optical parameters at the stage of figuring // *Proc. SPIE 11451, Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation IV*, 114513E (13 December 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2561082>.
 9. Suret P., Tikan A., Bonnefoy F., Copie F., Ducrozet G., Gelash A., Prabhudesai G., Michel G., Cazaubiel A., Falcon E., El G., Randoux S. Nonlinear Spectral Synthesis of Soliton Gas in Deep-Water Surface Gravity Waves // *Physical Review Letters*. – 2020. – vol. 125, № 26. – Art. 264101. – DOI 10.1103/PhysRevLett.125.264101.
 10. Vashchenko P.V., Boldova S.S., Labusov V.A. A High-Speed Spectral Pyrometer Based on a Kolibri-2 Spectrometer // *Inorganic Materials*. – 2020. – Vol. 56, № 14. – P. 1450–1452.
 11. Vashchenko P.V., Labusov V.A., Garanin V.G., Borisov A.V. Expansion of the Element Content Range through the Use of Self-Absorption Lines // *Там же*. – P. 1441–1445.
 12. Zarubin I.A., Labusov V.A., Babin S.A. Characteristics of Compact Spectrometers with Diffraction Gratings of Different Types // *Inorganic Materials*. – 2020. – Vol. 56, № 14. – P. 1436–1440. <https://doi.org/10.1134/S0020168520140162>

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ

1. Владимирская А.Д., Лобач И.А., Каблуков С.И. Линейно-поляризованный гольмиевый волоконный лазер с самосканированием длины волны вблизи 2,09 мкм // *Всероссийская научная конференция молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации»* (г. Новосибирск, Россия, 30 ноября – 4 декабря 2020): сб. научных трудов в 9-ти частях. Ч. 6: Электроника и биомедицинская техника. – 2020. – С. 116–118.
2. Каширина Е.К., Лобач И.А., Каблуков С.И. Двухмодовый режим узкополосного самосканирования в эрбиевом волоконном лазере вблизи 1,6 мкм // *Там же*. – С. 127–130.
3. Колосов Н.А., Болдова С.С. Оценка возможности определения элементного состава сточных вод с использованием малогабаритного атомно-абсорбционного спектрометра с источником непрерывного спектра // *Там же*. – С. 143–145.
4. Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A. Optical properties of KGW crystal and its possible applications in the terahertz range // *45th International conference on infrared, millimeter, and terahertz waves (IRMMW-THz)* (Buffalo, NY, USA, November 8–13, 2020). – 2020. – Art. 9370539. – P. 570–571. – DOI 10.1109/IRMMW-THz46771.2020.9370539.
5. Ezhov D. M., Kochnev Z.S., Savelyev E.S., Cherepanov V.N., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Svetlichnyi V. A. Variable THz attenuator based on 5BDSR micro-particles in synthetic 80W-90 oil // *Там же*. – Art. 9370943. – P. 595–596. – DOI 10.1109/IRMMW-THz46771.2020.9370943.

6. Semaan G., Komarov A., Kemel M., Nady A., Salhi M., and Sanchez F. Generation of staircase pulses in fiber lasers // OSA Technical Digest, Laser Science 2020, paper LM4F.1 (Washington, DC United States, USA, September 14–17, 2020). – 2020. – P. 17–18. – DOI 10.1364/LS.2020.LM4F.1. <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=LS-2020-LM4F.1>
7. Vyatkin S., Romanyuk O., Pavlov S. et al. Manipulating function-based objects with interactive collision risk models // Proceedings of the 1st International Workshop "Computational and Information Technologies for Risk-Informed Systems" (Kher-son, Ukraine, October 15–16, 2020) – Vol. 2805. – P. 324–334.

АВТОРЕФЕРАТЫ

1. Белоусов Д.А. Разработка и исследование методов и устройств локального контроля рельефно-фазовых оптических элементов и амплитудных решёток: дисс. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2020. 22 с.
2. Горбунов О.А. Изучение статистических свойств квази-непрерывных волоконных лазеров: дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 2020. 14 с.
3. Розов А.С. Разработка моделей и методов процесс-ориентированного программирования для открытых микроконтроллерных платформ: дисс. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2020. 19 с.

Научное издание

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
в 2021 году

Отчет о деятельности

Редактирование, компьютерная верстка, дизайн
Потатуркина Н.Г., Максимова Н.Н.

Подписано в печать 29.06.2022 г. Формат 70×108/16
Усл.-печ. л. 10 Тираж 100 экз. Заказ № 238

Сибирское отделение РАН
630090, г. Новосибирск, просп. академика Лаврентьева, 17
Отпечатано в Сибирском отделении РАН
630090, г. Новосибирск, Морской просп. 2
Тел. 330-84-66
E-mail: e.lyannaya@sb-ras.ru



**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ
И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СО РАН**

Россия, 630090, Новосибирск, пр. Акад. Коптюга, 1
тел.: (383) 330-79-69, факс: (383) 330-88-78,
e-mail: iae@iae.nsk.su; <https://www.iae.nsk.su>