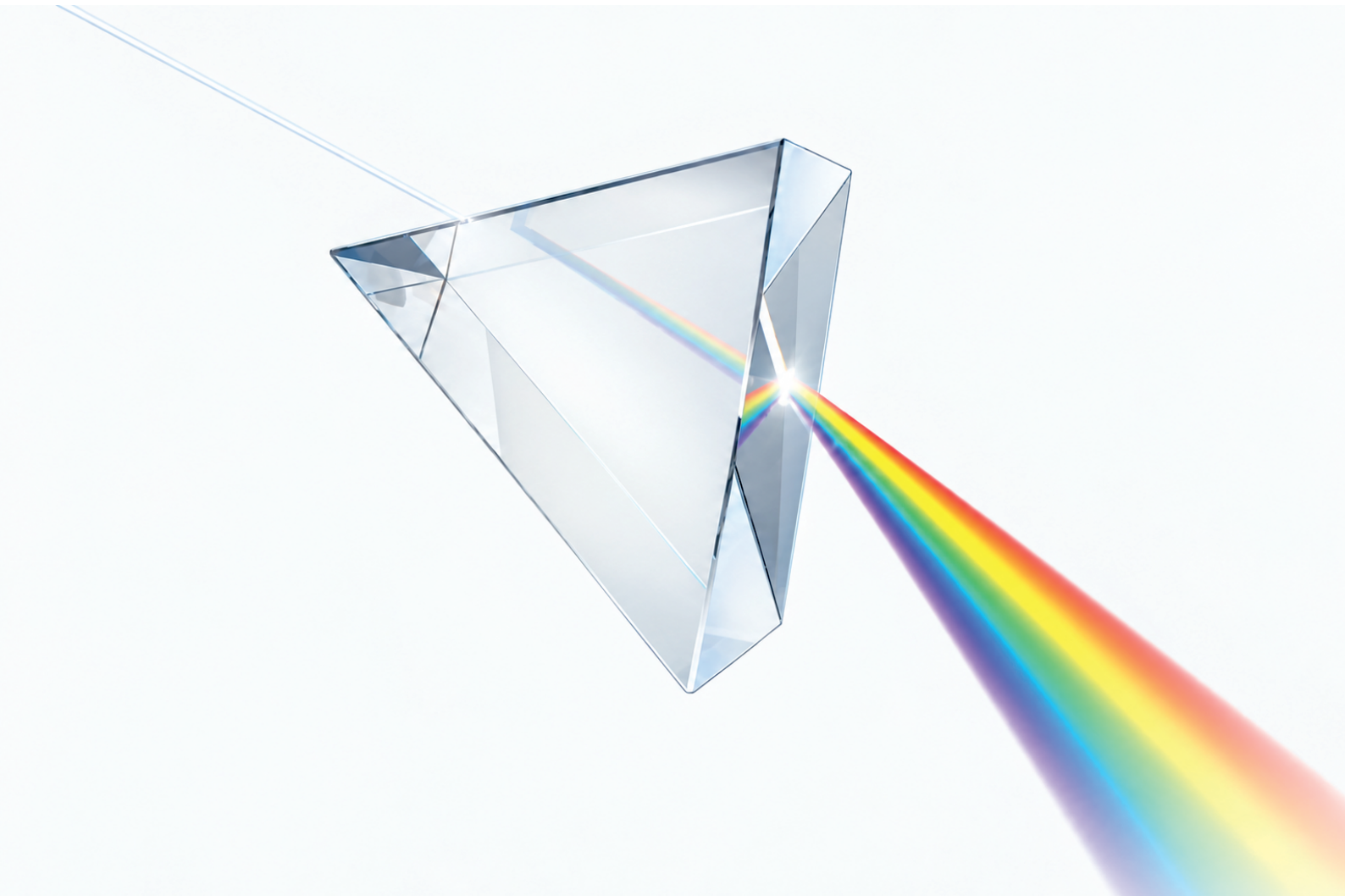
Лазерно-информационные технологии

Сборник тезисов докладов XXXVI Международной конференции

г. Новороссийск, 14–15 сентября 2026 года



Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Академия инженерных наук России им. А. М. Прохорова
Оптическое общество России им. Д. С. Рождественского
Балтийский государственный технический университет «Военмех»
Кубанский государственный технологический университет
Новороссийский политехнический институт
ООО «Пространство интеллектуальных решений»

ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сборник тезисов докладов XXXVI Международной конференции

г. Новороссийск, 14–15 сентября 2026 года

Электронное текстовое издание

Санкт-Петербург
Наукоемкие технологии
2026

© Коллектив авторов, 2026
ISBN 978-5-00271-175-8

УДК 535.8:004(082)
ББК 22.34:32.973я43
Л17

Рецензенты:
Вадим Евгеньевич Привалов, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;
Валерий Геннадьевич Шеманин, Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова; Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета;
Наталия Владимировна Каманина, АО «НПО ГОИ им. С. И. Вавилова»; Санкт-Петербургский электротехнический университет «ЛЭТИ»; Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт»;
Любовь Евгеньевна Аксенова, ООО «Пространство интеллектуальных решений»; Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича;
Кирилл Дмитриевич Аксенов, ООО «Пространство интеллектуальных решений»; Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Л17 Лазерно-информационные технологии [Электронный ресурс]: сборник тезисов докладов XXXVI Международной конференции; г. Новороссийск, 14–15 сентября 2026 года. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2026. – 147 с. – URL: https://publishing.intelgr.com/archive/Lazerno-informatsionnie-tekhnologii.pdf.

ISBN 978-5-00271-175-8

В сборнике представлены тезисы докладов по лазерной физике, оптике, спектроскопии, информационным технологиям и их применению. Рассмотрены лазерные измерения и технологии, системы обработки изображений и сигналов, наноматериалы, медицинские приложения и экологический мониторинг.

УДК 535.8:004(082)
ББК 22.34:32.973я43

ISBN 978-5-00271-175-8 © Коллектив авторов, 2026

Научное издание

Лазерно-информационные технологии

Сборник тезисов докладов XXXVI Международной конференции

г. Новороссийск, 14–15 сентября 2026 года

Электронное текстовое издание

Издается в авторской редакции
Публикуется из оригинал-макета, подготовленного авторами
Главный редактор *В. М. Коровин*

Подписано к использованию 01.10.2026.
Объем издания – 3,9 Мб.

Издательство «Наукоемкие технологии»
ООО «Корпорация «Интел Групп»
https://publishing.intelgr.com
E-mail: publishing@intelgr.com
Тел.: +7 (812) 945-50-63

ISBN 978-5-00271-175-8

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета

Привалов Вадим Евгеньевич — академик АИН, СПбПУ, Санкт-Петербург

Заместители председателя

Дьяченко Владимир Викторович — НПИ (филиал) КубГТУ, Новороссийск
Г. С. Евтушенко — РИНКЦЭ, Москва

Учёный секретарь

Аксенова Любовь Евгеньевна

Члены организационного комитета

В. Н. Очкин — профессор, доктор физико-математических наук, ФИАН, Москва

А. И. Рудской — доктор технических наук, профессор, академик РАН, СПбПУ, Санкт-Петербург

Э. И. Акопов — ФИАН, Москва

В. М. Арпишкин — ООР, Санкт-Петербург

А. С. Борейшо — БалтГТУ, Санкт-Петербург

Г. И. Долгих — академик РАН, ТОИ ДВО РАН, Владивосток

И. Г. Иванов — ЮФУ, Ростов-на-Дону

В. А. Лопота — академик РАН, СПбПУ, Санкт-Петербург

В. В. Осипов — член-корреспондент РАН, ИЭФ УрО РАН, Екатеринбург

В. Я. Панченко — академик РАН, ИПЛИТ РАН, Шатура Московской области

В. А. Степанов — РГПУ, Рязань

А. А. Тихомиров — ИМКЭС СО РАН, Томск

М. В. Тригуб — НИ ТПУ, Томск

В. А. Туркин — ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск

В. В. Тучин — член-корреспондент РАН, СаратовГУ, Саратов

А. Э. Фотиади — академик АИН, СПбПУ, Санкт-Петербург

В. Г. Шеманин — ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск

И. А. Щербаков — академик РАН, ИОФ РАН, Москва

К. Д. Аксенов — ООО ПИР, СПБГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Новороссийск

СОДЕРЖАНИЕ

АВТАНДИЛОВ К. Ш., ЕФИМИЧЕВА К. И., СТЕПАНОВ К. Ю., КОЛЕСНИКОВ О. В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛЫХ СВЕТОВОДОВ
ДЛЯ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА БАЗЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ
ПЛАТФОРМЫ EMQOS 1.0 9

АКСЕНОВ К. Д. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ В РАСПРЕДЕЛЁННЫХ
СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 11

АКСЕНОВА Л. Е. ПРЕДОБРАБОТКА И МЕЖПРИБОРНАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕТЧАТКИ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 13

БЕЛОВА О. С., ТЕМНИКОВ А. Г., КАЗАНЦЕВ С. Ю., СЕМЕНОВА В. Д., ПАИМЦЕВ Г. П.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЛНИИ НА ПОДЗЕМНЫЕ
ЛИНИИ СВЯЗИ 15

БОГУШЕВИЧ А. Я., КАЛЬЧИХИН В. В., КОБЗЕВ А. А., ТИХОМИРОВ А. А., ТЕЛЬМИНОВ А. Е.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ДИСДРОМЕТРА В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ СИНХРОННОГО
МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОСАДКОВ И ТУРБУЛЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ 18

БОЛТАНСКИЙ М. В., КОСОВА Ю. А. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ
В СИСТЕМАХ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ 20

ВАЛИЕВА Н. Р., ПЯТАЕВА П. И., ПИСАРЕВА Е. В., ТИМЧЕНКО Е. В., ВЛАСОВ М. Ю.,
ТИМЧЕНКО П. Е., ВОЛОВА Л. Т. РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ВЛИЯНИЯ ПАСТЫ НА ОСНОВЕ АЛЛОГЕННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА НА ЭМАЛЬ
КОРЕННЫХ ЗУБОВ КОРОВЫ 22

ВАЛЬШИН А. М. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР
НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ 25

ВАЛЬШИН А. М., АБЗАЛИЛОВ Д. А. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ПОДЖИГ И РАСКАЧКА ЛАМП-
ВСПЫШЕК ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ В ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ 26

ВАЛЬШИН А. М., АБЗАЛИЛОВ Д. А. ДЕФОРМАЦИЯ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ
В ИМПУЛЬСНЫХ ЛАМПАХ ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ
НАКАЧКЕ 28

ВАЛЬШИН А. М., АБЗАЛИЛОВ Д. А. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ЛАЗЕР НА ГРАНАТЕ С ГИБРИДНОЙ
НАКАЧКОЙ 29

ВЕДЕНИН Е. И., ДЬЯЧЕНКО В. В., НИКИТИН Н. И., ЧАРТИЙ П. В., ШЕМАНИН В. Г.
ПЕРЕНОСНОЙ АЭРОЗОЛЬНЫЙ ЛИДАР 30

ВЕДЕНИН Е. И., КАБАНОВ С. Ю., САРЫЧЕВ И. А., ЧАРТИЙ П. В., ШЕМАНИН В. Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПОТОКОВ ЛИДАРОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО
ОСЛАБЛЕНИЯ 32

ВЕЙКО В. П., ГОРНЫЙ С. Г., НАВОЛОЦКАЯ К. С., РОМАНОВА Г. В.
ЛАЗЕРНАЯ ЖИВОПИСЬ – НАЧАЛО 34

ВОРОБЕЦ И. А., ТУРКИН В. А. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ПРИМЕНЕНИЯ АДСОРБЦИОННЫХ СКРУББЕРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ
СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 36

ДУБРОВ М. Н., АЛЕКСАНДРОВ Д. В., ДЕНИСЮК Р. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИО-
ФОТОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ВИБРАЦИЙ 38

ДЬЯЧЕНКО В. В., ДЕВИСИЛОВ В. А., ПРИВАЛОВ В. Е., НЕУСТРОЕВ З. А., ТУРКИН В. А.,
ШЕМАНИН В. Г. ЗОНДИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ
ЛИДАРОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА 41

ДЬЯЧЕНКО В. В., КУЛЯ Д. Н. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАЗЕРНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АЭРОЗОЛЕЙ В ВОЗДУХЕ НОВОРОССИЙСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ 43

ЕРМАКОВ Е. А., КАРАВАНСКИЙ Н. А., ПЕСТЕРЕВА П. В., ЖУКОВА Л. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AGBR0,8I0,2 - TLI 46

ЕРМАКОВ Л. К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПИКОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЙ P4 – SE3 49

ЖМЫРКО Т. Г., НОВИКОВА Т. К., ВОЛКОВА Т. А. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ 51

ЗУБКО С. С., ТУРКИН В. А. СИСТЕМА СЕЛЕКТИВНО КАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ 52

КАМАНИНА Н. В., ТОЙККА А. С., КУЖАКОВ П. В. ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗУЧЕНИИ БАЗОВЫХ СВОЙСТВ НАНО- И БИО-СТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ 54

КАНЦЕДАЛОВ В. С., ХРАМОВ В. Н. РЕГИСТРАЦИЯ СПЕКТРОВ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЗС-ЛИНЕЙКИ 56

КАРАВАНСКИЙ Н. А., ЕРМАКОВ Е. А., ПЕСТЕРЕВА П. В., ЖУКОВА Л. В. АНАЛИЗ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ ГАЛОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ СИНТЕЗА НОВЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ 60

КОНДРАШОВ Д. С., ФИЛИСТ С. А. ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ СЕГМЕНТАЦИИ ВИДЕОДАННЫХ 63

КОРОБКОВ С. В. СЕГМЕНТАЦИЯ КОНТУРА ЛЕГКИХ НА СНИМКАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ МЕТОДОМ ДВОЙНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СКАНИРОВАНИЯ 65

КОРСУНСКИЙ Н. А. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ГРАФОВАЯ МОДЕЛЬ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ БИОИМПЕДАНСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ 68

КОСОВА Ю. А., БОЛТАНСКИЙ М. В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ПОМЕХ В МНОГОСЕРДЦЕВИННОМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ 70

КУГЕЙКО М. М., ТРУСЕВИЧ Л. А., ОЛЕХНОВИЧ Е. А. ЛОКАЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ГАЗОВЫХ СРЕД 72

КУЦЕНКО С. А., ОРЛЯНСКИЙ А. Е. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИСТОЧНИКИ С ПРЯМОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ 77

ЛЬВОВ А. Е., ЖУКОВА Л. В., КУЧЕРЕНКО Ф. М., КАРАВАНСКИЙ Н. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ГАЛОГЕНИДОВ ТАЛЛИЯ И СЕРЕБРА ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ 79

МАТАСОВА И. Ю. МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ РЯДА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МЕРГЕЛЯХ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ 82

МАУЛЬ А. И., ТОРГАЕВ С. Н. РАЗРАБОТКА БЛОКА ИК ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ И ПРИЕМНИКОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ЭКСПРЕСС ДИАГНОСТИКИ ГЕМАТОМ 84

МЕРЕНОВ С. Б. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОЦЕНКИ РИСКА ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЕГКИХ 86

МИХАЙЛОВ Г. П., ВОРОНОВА Ю. Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛАСТЕРОВ TIO_2 И БИОСОВМЕСТИМЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИМПЛАНТАТОВ 88

НЕУСТРОЕВ З. А., ТУРКИН В. А., ОГУРЦОВ Д. В., КРАЕВОЙ А. И. ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ УТЕЧЕК МЕТАНА ИЗ ДВУХТОПЛИВНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 90

НИКИТИН Н. И., ЧАРТИЙ П. В., ШЕМАНИН В. Г. КОАКСИАЛЬНЫЙ ТРЁХВОЛНОВЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ДАТЧИК ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ С ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ РАЗВЯЗКОЙ КАНАЛОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АЭРОЗОЛЬНЫХ ПОТОКОВ 92

НИКИТИН Н. И., ЧАРТИЙ П. В., ШЕМАНИН В. Г. РАЗРАБОТКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 5-ОСЕВОГО МАНИПУЛЯТОРА С ГИБРИДНЫМ ПЛАНЕТАРНО-ЦИКЛОИДАЛЬНЫМ РЕДУКТОРОМ 94

ОРЛОВ М. А., КАРАБУТОВ А. А., ФЕДИН М. Г. ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНТАКТНОЙ ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ 96

ОСИПОВ В. В., ЛИСЕНКОВ В. В., ПОДКИН А. В. СРАВНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО И ПЛАЗМОТРОННОГО СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДНЫХ НАНОПОРОШКОВ 100

ПОНОМАРЕВ И. В., ТОПЧИЙ С. Б., ЕВТУШЕНКО Г. С. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ДВУХВОЛНОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ МЕДИЦИНСКИХ АППАРАТОВ НА ПАРАХ МЕДИ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ФОТОДЕСТРУКЦИИ СОСУДИСТЫХ, ПИГМЕНТНЫХ И НЕОКРАШЕННЫХ ДЕФЕКТОВ КОЖИ 101

ПОНОМАРЕНКО Н. В. ПОИСК ОСОБЫХ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ ДВОЙНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СКАНИРОВАНИЯ 104

ПРОКОПЬЕВ В. Е., ЛУБЕНКО Д. М. ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ИСТОЧНИК УЗКОНАПРАВЛЕННОГО КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕРХМАЛОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ (БЕЛЫЙ ЛАЗЕР) 106

ПЯТАЕВА П. И., ШУЛЕПОВ П. В., ТИМЧЕНКО Е. В., ТИМЧЕНКО П. Е., РЯБОВ Н. А., ВОЛОВА Л. Т. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЛОГЕННЫХ ПОКРЫТИЙ КОМБИНИРОВАННЫХ БИОСИНТЕТИЧЕСКИХ СЕТЧАТЫХ ИМПЛАНТАТОВ 108

СКВОРЦОВ М. К. АЛГОРИТМ ЛОКАЛИЗАЦИИ МАРКЕРА «НАМЕРЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ» В БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ИНТЕРФЕЙСОМ МОЗГ-КОМПЬЮТЕР 110

ТИМЧЕНКО Е. В., ЛЯМИН А. В., КАЮМОВ К. А., БАЖУТОВА И. В., ГЛУБОКОВ Д. Г., ВОЛОВА Л. Т., ТИМЧЕНКО П. Е., ИТЯКСОВ Ю. Д., БАЖУТОВ Ф. Р. МЕТОД СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ШТАММОВ СТРЕПТОКОККОВ, ВЫРАЩЕННЫХ НА АГАРИЗИРОВАННЫХ СРЕДАХ 112

ТИМЧЕНКО Е. В., ТИМЧЕНКО П. Е., ВОЛОВА Л. Т., МАКСИМЕНКО Н. А., СОЛОВЬЕВ Н. И. СПЕКТРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТАВА ДОНОРСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ 115

ТИМЧЕНКО Е. В., ГЛУБОКОВ Д. Г., ТИМЧЕНКО П. Е., БАЖУТОВА И. В., ВОЛОВА Л. Т., БАЖУТОВ Ф. Р. СПЕКТРАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ БЕДРЕННОЙ КОМПАКТНОЙ КОСТИ ПРИ ГАНГРЕНЕ И ФЛЕГМОНЕ 117

ТИМЧЕНКО П. Е., ВОЛОВ А. Д., ТИМЧЕНКО Е. В., ВОЛОВА Л. Т., СТРЕЛКОВ А. К., ЧЕРНУХИН А. А. МЕТОД СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БУФЕРНЫХ РАСТВОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЯХ 119

ТИХОМИРОВ А. А., ТАТУР В. В., ТАНИЧЕВ А. С. ВЛИЯНИЕ ОЗОНА НА РАБОТУ АНАЛИЗАТОРА ПАРОВ РТУТИ НА ОСНОВЕ ПОПЕРЕЧНОГО ЭФФЕКТА ЗЕЕМАНА 122

ТРУСЕВИЧ Л. А., КУГЕЙКО М. М. К МЕТОДИЧЕСКИМ РЕКОМЕНДАЦИЯМ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕРАНОСТИКЕ НАНОЧАСТИЦ И НАНООБОЛОЧЕК AG, AU 124

ЧЕБОТАРЕВ Г. Д. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ РЕКОМБИНАЦИОННОГО CA-ЛАЗЕРА ОТ ПАРАМЕТРОВ НАКАЧКИ АКТИВНОЙ СРЕДЫ 129

ЧУРА М. Н., ГРИЦОВА А. Ц., РИХТЕР М. О., ЧУРА Н. Н. ПОГРУЗКА ТАНКЕРОВ И ВЛИЯНИЕ РОЗЫ ВЕТРОВ В ЗОНЕ ПОРТА 130

ШИЛЯЕВ И. К., КИЗЕВЕТТЕР Д. В., МАЛЮГИН В. И. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОЛОКОННОМ ОПТИЧЕСКОМ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕ 132

ШИЯНОВ Д. В. АКТИВНЫЕ СРЕДЫ НА ПЕРЕХОДАХ АТОМА МАРГАНЦА С МОЩНОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ ДО 5 ВТ 135

ЮЖАКОВ И. В., КАБЫКИНА Е. Ю., САЛИМГАРЕЕВ Д. Д., ЖУКОВА Л. В. ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ AGCL0,75BR0,25 – TLI 137

ЮЖАКОВ И. В., МАЛЫШКИНА Е. Н., ВОЛЬХИНА Е. А., ЮЖАКОВА А. А., ЖУКОВА Л. В. ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ОПТИЧЕСКОЕ ПРОПУСКАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ СИСТЕМЫ AGCL0.75BR0.25 – TLI 139

ЮЖАКОВ И. В., САЛИМГАРЕЕВ Д. Д., ЖУКОВА Л. В. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ AGCL0.75BR0.25 – TLI 142

ЮЖАКОВА А. А., БАРЫКИНА С. Е., ЖУКОВА Л. В. ПОВЫШЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИК СВЕТОВОДОВ ЗА СЧЕТ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ 144

CHAI Q., POPOV A. N., TURKIN V. A., SHEMANIN V. G., SHOMPOLOV I. V. FLUORESCENT LIDAR FOR THE NO2 MOLECULES CONCENTRATION MEASUREMENT IN GAS EMISSIONS FROM MARINE POWER PLANTS. COMPUTER SIMULATION 147

УДК 535.37:004.031.42
ГРНТИ 49.44.29
ВАК 2.2.15

Исследование возможности применения полых световодов для квантового распределения ключей на базе научно-образовательной платформы EMQOS 1.0

[1*] Автандилов К. Ш., [1] Ефимичева К. И., [1] Степанов К. Ю., [1] Колесников О. В.

[1] Московский технический университет связи и информатики, 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная 8
email: [*] k.sh.avtandilov@edu.mtuci.ru, k.i.efimicheva@mtuci.ru, k.yu.stepanov@mtuci.ru, o.v.kolesnikov@mtuci.ru

Развитие квантовых сетей требует поиска новых сред передачи квантовых сигналов. Межвузовская квантовая сеть МТУСИ–МИСиС, созданная на базе платформы EMQOS 1.0 [1, 2], реализует протокол BB84 с фазовым кодированием. Передача квантового распределения ключей (КРК) через полые световоды была продемонстрирована в независимых исследованиях [3]; в настоящей работе данная задача решается на базе EMQOS 1.0. Цель – исследование возможности применения полых световодов для передачи данных, защищённых КРК, на платформе EMQOS 1.0.

Основным ограничением при интеграции полых световодов в схему КРК служат потери на узле сопряжения со стандартным одномодовым волокном, определяющие энергетический бюджет канала и квантовые ошибки (QBER). Архитектура EMQOS 1.0 позволяет заменять участок передачи между модулями «Алиса» и «Боб» без изменения общей структуры установки, что делает платформу удобной экспериментальной базой для исследования узла сопряжения.

Для анализа узла применены модель гауссова пучка и метод ABCD-матриц. Коэффициент ввода излучения в полый световод определяется согласованием полей мод в области стыка [4]. Расчёт показывает, что эффективное согласование мод одномодового волокна (MFD = 10,4 мкм, λ = 1,55 мкм) возможно при использовании GRIN-световода. В качестве образца использован полый световод, предоставленный Научным центром волоконной оптики РАН.

Экспериментально исследованы три схемы сопряжения. Прямая стыковка дала потери 3,77 дБ. Введение GRIN-световода снизило их до 3,12 дБ (−17 %). Трёхкомпонентная схема с кварцевым цилиндром и GRIN-световодом показала наименьшие потери 2,91 дБ (−23 %). Применение промежуточных согласующих элементов позволяет сохранить работоспособность квантового канала в пределах энергетического бюджета EMQOS 1.0.

Полые световоды характеризуются потерями менее 0,1 дБ/км [5], малыми нелинейными эффектами и широким спектральным диапазоном. Экспериментально измеренные потери на узле сопряжения подтверждают принципиальную реализуемость интеграции полых световодов в схему КРК на платформе EMQOS 1.0. Дальнейшие исследования планируется направить на оптимизацию согласующего узла и оценку характеристик квантового канала (QBER, скорость просеянного ключа) при передаче через полый световод.

Список литературы

1. T. V. Kazieva et al., «Educational Laboratory Complexes for Training Specialists and Conducting Scientific Research in the Field of Quantum Communications,» 2025 WECONF, St. Petersburg, 2025, pp. 1–5.

2. I. G. Buzhin et al., «Implementation of interoperability between heterogeneous quantum key distribution networks within an interuniversity quantum network,» Software & Systems, 2025, 38(4), pp. 578–587.

3. T. Dou et al., «40 Tbps classical communication coexistence with quantum key distribution over hundred-kilometer hollow-core fiber,» Photonics Res., vol. 14, no. 4, pp. 1658–1669, 2026.

4. R. W. Gilsdorf and J. C. Palais, «Single-mode fiber coupling efficiency with graded-index rod lenses,» Applied Optics, vol. 33, no. 16, pp. 3440–3445, 1994.

5. Y. Hao et al., «Ultra-low loss bending resistant few-mode hollow core anti-resonant fiber with nested elliptical tubes,» Optics & Laser Technology, vol. 186, p. 112685, 2025.

Investigation of the possibility of using hollow optical fibers for quantum key distribution based on the scientific and educational platform EMQOS 1.0

[1*] Avtandilov K. Sh., [1] Efimicheva K. I., [1] Stepanov K. Yu., [1] Kolesnikov O. V.

[1] Moscow Technical University of Communications and Informatics, 111024, Russia, Moscow, Aviamotornaya str. 8
*email: * k.sh.avtandilov@edu.mtuci.ru, k.i.efimicheva@mtuci.ru, k.yu.stepanov@mtuci.ru, o.v.kolesnikov@mtuci.ru*

The development of quantum networks requires the search for new means of transmitting quantum signals. The interuniversity MTUCI–MISIS quantum network, created on the basis of the EMQOS 1.0 platform [1, 2], implements the BB84 phase-coded protocol. The transmission of quantum key distribution (QK) through hollow optical fibers has been demonstrated in independent studies [3]; in this work, this problem is solved on the basis of EMQOS 1.0. The aim is to investigate the possibility of using hollow optical fibers to transmit data protected by QK on the EMQOS 1.0 platform.

The main limitation in the integration of hollow fiber optic cables into the CRC circuit is losses at the interface with a standard single-mode fiber, which determine the energy budget of the channel and quantum errors (QBER). The EMQOS 1.0 architecture allows you to replace the transmission section between the "Alice" and "Bob" modules without changing the overall structure of the installation, which makes the platform a convenient experimental base for studying the interface node.

The Gaussian beam model and the ABCD matrix method are used to analyze the node. The coefficient of radiation input into a hollow fiber is determined by the matching of the mode fields in the junction area [4]. The calculation shows that effective mode matching of a single-mode fiber (MFD = 10.4 microns, λ = 1.55 microns) is possible using a GRIN fiber. A hollow optical fiber provided by the Scientific Center of Fiber Optics of the Russian Academy of Sciences was used as a sample.

Three coupling schemes have been experimentally investigated. Direct docking resulted in a loss of 3.77 dB. The introduction of the GRIN fiber reduced them to 3.12 dB (-17%). A three-component circuit with a quartz cylinder and a GRIN fiber showed the lowest loss of 2.91 dB (-23%). The use of intermediate matching elements makes it possible to maintain the operability of the quantum channel within the energy budget of EMQOS 1.0.

Hollow light guides are characterized by losses of less than 0.1 dB/km [5], low nonlinear effects, and a wide spectral range. Experimentally measured losses at the interface node confirm the feasibility in principle of integrating hollow optical fibers into the QCR circuit on the EMQOS 1.0 platform. Further research is planned to focus on optimizing the matching node and evaluating the characteristics of the quantum channel (QBER, the speed of the key sifted) when transmitting through a hollow optical fiber.

References

1. T. V. Kazieva et al., «Educational Laboratory Complexes for Training Specialists and Conducting Scientific Research in the Field of Quantum Communications,» 2025 WECONF, St. Petersburg, 2025, pp. 1–5.

2. I. G. Buzhin et al., «Implementation of interoperability between heterogeneous quantum key distribution networks within an interuniversity quantum network,» Software & Systems, 2025, 38(4), pp. 578–587.

3. T. Dou et al., «40 Tbps classical communication coexistence with quantum key distribution over hundred-kilometer hollow-core fiber,» Photonics Res., vol. 14, no. 4, pp. 1658–1669, 2026.

4. R. W. Gilsdorf and J. C. Palais, «Single-mode fiber coupling efficiency with graded-index rod lenses,» Applied Optics, vol. 33, no. 16, pp. 3440–3445, 1994.

5. Y. Hao et al., «Ultra-low loss bending resistant few-mode hollow core anti-resonant fiber with nested elliptical tubes,» Optics & Laser Technology, vol. 186, p. 112685, 2025.

Методы защиты медицинских данных в распределённых системах искусственного интеллекта

Аксенов К. Д.

ООО «Пространство интеллектуальных решений», Новороссийск, Россия
axenov.kir@gmail.com

Применение искусственного интеллекта в медицинских информационных системах требует согласования доступа к вычислительным ресурсам с разграничением доступа к исследованиям пациентов. В работе рассматривается целевая архитектура платформы EyeTech, в которой данные исследований хранятся в локальных экземплярах системы медицинских организаций, а общие функции аутентификации, учёта организаций, лицензирования и выполнения отдельных алгоритмов ИИ сосредоточены в центральном узле HUB. Цель работы — определить границы доверия и способы защиты взаимодействий между этими компонентами.

Структура платформы включает организацию, её площадки и установленные на них экземпляры EyeTech. Каждый экземпляр имеет собственные хранилища, уникальный идентификатор UUID и ключевой материал. Для локального хранения предусмотрены PostgreSQL, MinIO и Orthanc. При выполнении запроса проверяются принадлежность пользователя к организации и право на конкретное действие; наличие учётной записи само по себе не предоставляет доступа к исследованиям другой организации. Идентификаторы организации и экземпляра связывают запрос с источником данных и местом сохранения результата.

Передача данных защищается TLS, а для межсистемных соединений предусматривается взаимная аутентификация по сертификатам mTLS [1]. Разделены канал обработки изображений и служебный канал hub-connector. Первый использует отдельный сертификат ИИ-сервиса и передаёт изображение с минимально необходимыми метаданными из локального экземпляра в HUB. После обработки возвращаются маски и сведения о версии модели; результат сохраняется в исходном исследовании на стороне медицинской организации. Служебный канал устанавливает исходящее соединение WSS/mTLS и используется для обмена статусами и сведениями о лицензиях. Для него предусмотрен отдельный сертификат; передача изображений по этому каналу не является частью рассматриваемой схемы.

Локальное размещение хранилищ сокращает необходимость постоянного переноса полного архива исследований в центральную систему, однако не означает полной автономности платформы. При запуске централизованного алгоритма изображение покидает локальный экземпляр, а доступность такой обработки зависит от HUB. Удаление имени пациента из запроса также не гарантирует обезличивание: идентифицирующие сведения могут сохраняться в атрибутах и непосредственно в изображении. Поэтому состав передаваемых полей и процедура подготовки данных должны проверяться отдельно с учётом профилей конфиденциальности DICOM [2]. Поддержка DICOM, DICOM SR, HL7 v2 и FHIR рассматривается как средство информационного обмена, дополняемое механизмами аутентификации и авторизации [3].

Результатом работы является архитектурное разделение локального хранения, централизованного вычисления и служебного управления. Для проверки этой схемы предложены сценарии отклонения запросов без необходимых прав, обращений к чужой организации и соединений с недействительными сертификатами, а также проверки возврата результата в соответствующее исследование и поведения при недоступности HUB. На этапе представленной работы интеграционная проверка продолжается; количественные показатели устойчивости к атакам и результаты независимого аудита не заявляются. Предложенная схема задаёт проверяемые требования к взаимодействию компонентов распределённой медицинской системы.

Список литературы

1. Rescorla E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3. RFC 8446. 2018. DOI: 10.17487/RFC8446.

2. DICOM Standards Committee. DICOM PS3.15. Security and System Management Profiles. Annex E. Attribute Confidentiality Profiles. https://dicom.nema.org/medical/dicom/current/output/chtml/part15/chapter_E.html (16.09.2026).

3. HL7 International. FHIR Release 4. Security. Version 4.0.1. https://hl7.org/fhir/R4/security.html (16.09.2026).

Methods for protecting medical data in distributed artificial intelligence systems

K. D. Aksenov

Prostranstvo Intellektualnykh Resheniy LLC, Novorossiysk, Russia
axenov.kir@gmail.com

The use of artificial intelligence in medical information systems requires access to computing resources to be coordinated with access restrictions on patient studies. This work examines the target architecture of the EyeTech platform. Study data are stored in local instances operated by medical organizations, while a central HUB provides shared authentication, organization management, licensing, and selected AI services. The objective is to define trust boundaries and mechanisms for protecting communication between these components.

The platform comprises an organization, its sites, and the EyeTech instances deployed at those sites. Each instance has its own storage, a UUID, and cryptographic credentials. PostgreSQL, MinIO, and Orthanc are used in the local storage architecture. Requests are checked for organization membership and permission to perform the requested action. Possession of an account alone does not grant access to another organization's studies. Organization and instance identifiers associate each request with its data source and the destination for storing the result.

TLS protects data in transit, and mutual certificate authentication through mTLS is envisaged for communication between systems [1]. Image processing and service management use separate channels. The image-processing channel uses a dedicated AI-service certificate to transfer an image and the minimum necessary metadata from a local instance to the HUB. The HUB returns masks and the model version, and the local instance stores the result in the originating study. The hub-connector service channel establishes an outbound WSS/mTLS connection for status and licensing messages. It uses a separate certificate; image transfer is outside the intended function of this channel.

Local storage reduces the need to continuously transfer an entire study archive to the central system, but it does not make all platform functions autonomous. An image leaves the local instance when a centralized algorithm is invoked, and this processing depends on HUB availability. Removing the patient's name does not by itself ensure de-identification because identifying information may remain in attributes or in the image itself. The transmitted fields and data preparation procedure therefore require separate verification with reference to DICOM confidentiality profiles [2]. DICOM, DICOM SR, HL7 v2, and FHIR support interoperability and must be complemented by authentication and authorization mechanisms [3].

The work defines an architectural separation between local storage, centralized computation, and service management. Proposed verification scenarios include rejection of unauthorized requests, cross-organization access attempts, and connections with invalid certificates, as well as correct association of returned results with studies and behavior during HUB unavailability. Integration verification remains in progress; quantitative resistance to attacks and independent audit results are not claimed. The architecture provides testable requirements for component interactions in a distributed medical information system.

References

1. Rescorla E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3. RFC 8446. 2018. DOI: 10.17487/RFC8446.

2. DICOM Standards Committee. DICOM PS3.15. Security and System Management Profiles. Annex E. Attribute Confidentiality Profiles. https://dicom.nema.org/medical/dicom/current/output/chtml/part15/chapter_E.html (16.09.2026).

3. HL7 International. FHIR Release 4. Security. Version 4.0.1. https://hl7.org/fhir/R4/security.html (16.09.2026).

Предобработка и межприборная стандартизация изображений сетчатки для моделей машинного обучения

Аксенова Л. Е.

ООО «Пространство интеллектуальных решений», Новороссийск, Россия
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия
axenovalubov@gmail.com

Различия цветопередачи, контраста и масштаба изображений, полученных на разных офтальмологических приборах, ограничивают переносимость моделей сегментации. Рассмотрены два способа уменьшения этого влияния: цветовые преобразования при обучении сегментации фотографий глазного дна и перенос стиля изображений оптической когерентной томографии (ОКТ) перед обработкой закрытой моделью. Для первого подхода выполнено количественное сравнение; для второго представлен предварительный эксперимент без количественной оценки сегментации.

В эксперименте с фотографиями глазного дна сегментировали диск и экскавацию зрительного нерва. Для обучения использовали 160 изображений Zeiss Visucam 500 и 40 изображений для валидации из REFUGE; тестирование проводили на 600 изображениях, по 200 для Zeiss Visucam 500, Canon CR-2 и Topcon TRC-NW6 [1, 2]. Повторные изображения одного глаза удаляли до разделения данных. Для разметки MESSIDOR использовали согласие не менее четырёх из шести экспертов для каждого пикселя. Область интереса 800 × 800 пикселей уменьшали до 256 × 256 для подачи в сеть.

Сравнивали две модели ResUNet34 с одинаковой инициализацией энкодера ImageNet. Обучение выполняли 100 эпох с размером пакета 4, оптимизатором Adam, скоростью обучения 10^{-4}, суммой функций потерь BCE и Dice и фиксированным seed 17. Контрольную точку выбирали по среднему Dice на 40 валидационных изображениях Zeiss. Единственным различием служило применение Random Color Transformation (RCT) [3]: независимое масштабирование RGB-каналов в диапазоне 0,4–1,6 и смещение в диапазоне −255…255 без изменения геометрии изображения и маски. Адаптацию модели во время тестирования не выполняли.

Средний Dice рассчитывали по диску и экскавации, затем усредняли по 200 изображениям каждого прибора. Для Zeiss значение изменилось с 91,98 до 91,82 %, для Canon — с 84,26 до 86,74 %, для Topcon — с 83,70 до 86,74 %. Таким образом, на двух внешних наборах прирост составил приблизительно 2,5 и 3,0 процентного пункта. На Canon основной вклад обеспечило улучшение сегментации экскавации. Прибор и состав пациентов изменялись одновременно, поэтому результаты характеризуют перенос между наборами данных, а не изолированный эффект смены камеры. Проверка на одном seed также ограничивает обобщение вывода.

В эксперименте с ОКТ использовали 556 изображений Optopol REVO FC и 2064 изображения Optovue Avanti RTVue XR из OCTDL [4], выделив по 40 изображений каждого домена вне обучения. На Optopol удаляли элементы интерфейса и заголовок пациента; B-сканы приводили к одноканальному формату 256 × 256. CycleGAN [5] с генераторами ResNet из девяти блоков и дискриминаторами PatchGAN обучали 16 эпох на непарных данных. Перенос Avanti в стиль Optopol выполнялся как самостоятельная предобработка без доступа к весам и градиентам закрытого сегментатора. Визуальные примеры показывают изменение стиля, но появление полос и дополнительных контуров требует отдельной проверки сохранности анатомической структуры.

Цветовые преобразования при обучении улучшили перенос сегментации фотографий глазного дна на два внешних набора при практически неизменном результате на исходном домене. Для ОКТ подтверждена только возможность преобразования стиля в рамках предварительного эксперимента. Следующий этап включает экспертную оценку артефактов и сравнение исходных, масштабированных и преобразованных ОКТ-изображений одним и тем же сегментатором по Dice, IoU и HD95. Количественное улучшение сегментации ОКТ на данном этапе не установлено.

Список литературы

1. Orlando J. I. et al. REFUGE Challenge: A Unified Framework for Evaluating Automated Methods for Glaucoma Assessment from Fundus Photographs. 2019. arXiv:1910.03667.

2. Hu M. et al. RIGA+ Dataset. Zenodo. 2022. DOI: 10.5281/zenodo.6325549.

3. Guo, Ji. Random color transformation for single domain generalized retinal image segmentation. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2024. DOI: 10.1016/j.engappai.2024.108907.

4. Kulyabin M. et al. OCTDL. Scientific Data. 2024. DOI: 10.1038/s41597-024-03182-7.

5. Zhu J.-Y., Park T., Isola P., Efros A. A. Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks. ICCV. 2017.

Preprocessing and cross-device standardization of retinal images for machine learning models

L. E. Aksenova

Prostranstvo Intellektualnykh Resheniy LLC, Novorossiysk, Russia
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, Saint Petersburg, Russia
axenovalubov@gmail.com

Differences in color reproduction, contrast, and scale across ophthalmic devices limit the transferability of segmentation models. Two approaches are examined: color transformations during fundus segmentation training and optical coherence tomography (OCT) style transfer before processing by a closed segmentation model. The first approach is evaluated quantitatively, whereas the second is a preliminary experiment without quantitative segmentation assessment.

The fundus experiment addressed optic disc and cup segmentation. Training used 160 Zeiss Visucam 500 images and validation used 40 images from REFUGE. Testing included 600 images, with 200 each from Zeiss Visucam 500, Canon CR-2, and Topcon TRC-NW6 [1, 2]. Repeated images of the same eye were removed before splitting the data. MESSIDOR labels required agreement of at least four of six experts at each pixel. An 800 × 800 region of interest was resized to 256 × 256 for network input.

Two ResUNet34 models used identical ImageNet encoder initialization and were trained for 100 epochs with a batch size of 4, the Adam optimizer, a learning rate of 10^{-4}, combined BCE and Dice losses, and seed 17. Checkpoints were selected using mean Dice on the 40 Zeiss validation images. The only difference was Random Color Transformation (RCT) [3], which independently scaled RGB channels by factors of 0.4–1.6 and shifted them by −255 to 255 while preserving image and mask geometry. No test-time model adaptation was applied.

Dice was averaged over disc and cup and then over the 200 images for each device. Mean Dice changed from 91.98 to 91.82% on Zeiss, from 84.26 to 86.74% on Canon, and from 83.70 to 86.74% on Topcon. The gains on the two external datasets were therefore approximately 2.5 and 3.0 percentage points. Cup segmentation accounted for most of the Canon improvement. Since both the device and the patient population changed between datasets, these findings characterize dataset transfer rather than an isolated camera effect. Evaluation with a single random seed further limits generalization.

The OCT experiment used 556 Optopol REVO FC images and 2,064 Optovue Avanti RTVue XR images from OCTDL [4], with 40 images per domain held out from training. Interface elements and patient headers were removed from Optopol images, and B-scans were converted to single-channel 256 × 256 images. A CycleGAN [5] with nine-block ResNet generators and PatchGAN discriminators was trained on unpaired data for 16 epochs. Avanti-to-Optopol style transfer served as independent preprocessing without access to the closed segmentator’s weights or gradients. Visual examples demonstrate style changes, but bands and additional contours require assessment of anatomical fidelity.

Color transformations improved fundus segmentation transfer to two external datasets while leaving source-domain performance nearly unchanged. For OCT, only preliminary style conversion has been demonstrated. Further work includes expert assessment of artifacts and comparison of original, resized, and transformed OCT images using the same segmentator and Dice, IoU, and HD95 metrics. A quantitative OCT segmentation improvement has not yet been established.

References

1. Orlando J. I. et al. REFUGE Challenge: A Unified Framework for Evaluating Automated Methods for Glaucoma Assessment from Fundus Photographs. 2019. arXiv:1910.03667.

2. Hu M. et al. RIGA+ Dataset. Zenodo. 2022. DOI: 10.5281/zenodo.6325549.

3. Guo, Ji. Random color transformation for single domain generalized retinal image segmentation. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2024. DOI: 10.1016/j.engappai.2024.108907.

4. Kulyabin M. et al. OCTDL. Scientific Data. 2024. DOI: 10.1038/s41597-024-03182-7.

5. Zhu J.-Y., Park T., Isola P., Efros A. A. Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks. ICCV. 2017.

УДК 535.56, 535.92
ГРНТИ 81.93.21
ВАК 2.2.15

Исследование электромагнитного воздействия молнии на подземные линии связи

[1*] Белова О.С., [1] Темников А.Г., [2] Казанцев С.Ю., [1] Семенова В.Д., [1]Паимцев Г.П.

[1] Национальный исследовательский университет "МЭИ", 111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.

[2] Московский технический университет связи и информатики, 111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8а

email: [*]belovaos@mail.ru, temnikovag@mpei.ru, s.i.kazantsev@mtuci.ru, semenovavd@mpei.ru, paimtsevgp@mpei.ru

Как показывают современные исследования, волоконно-оптические линии связи, использующие технологию поляризационного мультиплексирования, могут быть подвержены воздействию сильных электромагнитных полей [1, 2]. При этом наибольшую опасность представляют сильные электромагнитные поля, индуцированные разрядом молнии, поскольку они способны вызвать очень быстрые отклонения состояния поляризации передаваемого сигнала [3, 4]. Такие отклонения могут привести как к снижению скорости передачи информации, так и к ее потере. Разряд молнии, при стекании импульса тока через заземлитель, также индуцируют сильные электромагнитные поля в широком частотном диапазоне (в том числе за счет возникновения разнообразных искровых процессов в грунте), что также может оказать влияние на подземные коммуникации [5]. Присутствие искровых процессов в грунте при стекании с заземлителя тока молнии будет оказывать специфическое влияние на характер электромагнитного воздействия на подземные линии связи. Представлены результаты исследования влияния сильных электромагнитных полей, индуцируемых разрядом молнии, на работу волоконно-оптических линий связи, расположенных в грунте. С помощью экспериментальной установки «Генератор тока молнии четырехкомпонентный» (ГТМ-4) был смоделирован удар молнии в молниеотвод и последующее стекание тока молнии через заземлитель, расположенный в плохо проводящем грунте. В рамках исследования было рассмотрено две электродных системы, отличающихся формой верхнего электрода, расположенного над поверхностью грунта. Были рассмотрены прямой и изогнутый под прямым углом электроды. Нижняя часть, моделирующая заземлитель, была выполнена в виде прямого электрода, погруженного в грунт и отстоящего от верхнего электрода на расстояние 5 см. С нижнего электрода происходила регистрация импульса тока. Амплитуда тока варьировалась в диапазоне от 61 до 209 кА. Импульс тока повторял первую компоненту тока молнии (компонента А). В грунте, вокруг нижнего электрода, был проложен полностью диэлектрический волоконно-оптический кабель. Через кабель передавался сигнал от лазерного диода (1550 нм). На другом конце кабеля происходила регистрация сигнала с помощью поляриметра Novoptel PM1000, обеспечивающего запись состояния поляризации сигнала с шагом 40 нс. В случае эксперимента с верхним прямым электродом, отклонение азимутального угла плоскости поляризации передаваемого сигнала составило около 40 градусов, а отклонение угла эллиптичности - около 32 градусов. При этом наблюдалась тенденция к росту азимутального угла с ростом значений амплитуды импульса тока. В случае экспериментов с изогнутым электродом, отклонение азимутального угла составило около 35 градусов, а угла эллиптичности - 42 градуса. Подобные отклонения являются критичными для работы системы связи, использующих технологию мультиплексирования. В случае верхнего изогнутого электрода при амплитуде импульса тока до 120 кА наблюдается тенденция к снижению отклонения угла эллиптичности с ростом амплитуды импульса тока, что характерно лишь для положительных импульсов тока.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10223-П, https://rscf.ru/project/23-79-10223-П/

Список литературы

1. Lian W. et al. Theoretical and experimental study on optical polarization states in overhead optical cables under complex weather conditions such as real lightning //Laser Physics. – 2025. – Т. 35. – №. 1. – С. 015101.

2. Krummrich P. M. et al. Demanding response time requirements on coherent receivers due to fast polarization rotations caused by lightning events //Optics express. – 2016. – Т. 24. – №. 11. – С. 12442-12457.

3. Charlton D. et al. Field measurements of SOP transients in OPGW, with time and location correlation to lightning strikes //Optics Express. – 2017. – Т. 25. – №. 9. – С. 9689-9696.

4. Belova O. S. et al. Quantum Key Distribution Through All-Dielectric Cable Under Close Lightning Strike //2025 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – IEEE, 2025. – С. 1-5.

5. Belova O. S. et al. Features of Functioning of Modern Communication Systems in the Presence of Thunderstorm Activity //Technical Physics. – 2025. – Т. 70. – №. 5. – С. 135-142.

Study of the electromagnetic impact of lightning on underground communication lines

[1*] Belova O. S., [1] Temnikov A.G., [2] Kazantsev S.Yu., [1] Semenova V.D., [1] Paimtsev G.P.

[1] National Research University "Moscow Power Engineering Institute", 111250, Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, building 1.

[2] Moscow Technical University of Communications and Informatics, 111024, Russia, Moscow, Aviamotornaya St., 8a

email: [*] belovaos@mail.ru, temnikovag@mpei.ru, s.i.kazantsev@mtuci.ru, semenovavd@mpei.ru, paimtsevgp@mpei.ru

As modern research shows, fiber-optic communication lines using polarization multiplexing technology can be exposed to strong electromagnetic fields [1, 2]. The greatest danger comes from strong electromagnetic fields induced by lightning discharges, since they can cause very rapid deviations in the polarization state of the transmitted signal [3, 4]. Such deviations can lead to both a decrease in the information transfer rate and its loss. A lightning discharge, when a current pulse flows down through the ground electrode, also induces strong electromagnetic fields in a wide frequency range (including due to the occurrence of various spark processes in the ground), which can also affect underground communications [5]. The presence of spark processes in the ground when the lightning current flows down from the ground electrode will have a specific effect on the nature of the electromagnetic impact on underground communication lines. The article presents the results of a study of the influence of strong electromagnetic fields induced by lightning discharges on the operation of fiber-optic communication lines located in the ground. Using the Four-Component Lightning Current Generator (FCLG-4) experimental setup, a lightning strike to a lightning rod and subsequent lightning current flow through a ground electrode located in poorly conducting soil were simulated. The study examined two electrode systems, differing in the shape of the upper electrode located above the ground surface. A straight electrode and a right-angled electrode were considered. The lower part, simulating the ground electrode, was designed as a straight electrode immersed in the ground and spaced 5 cm from the upper electrode. A current pulse was recorded from the lower electrode. The current amplitude varied between 61 and 209 kA. The current pulse replicated the first component of the lightning current (component A). An all-dielectric fiber-optic cable was laid in the ground around the lower electrode. A signal from a laser diode (1550 nm) was transmitted through the cable. At the other end of the cable, the signal was recorded using a Novoptel PM1000 polarimeter, which records the signal polarization state with a 40-ns step. In the experiment with the upper straight electrode, the deviation of the azimuthal angle of the transmitted signal's polarization plane was approximately 40 degrees, and the deviation of the ellipticity angle was approximately 32 degrees. A tendency for the azimuthal angle to increase with increasing current pulse amplitude was observed. In the experiments with the curved electrode, the deviation of the azimuthal angle was approximately 35 degrees, and the deviation of the ellipticity angle was 42 degrees. Such deviations are critical for the operation of communication systems using multiplexing technology. In the case of the upper curved electrode, with a current pulse amplitude of up to 120 kA, a tendency for the deviation of the ellipticity angle to decrease with increasing current pulse amplitude was observed, which is characteristic only of positive current pulses.

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 23-79-10223, https://rscf.ru/en/project/23-79-10223-П/.

References

1. Lian, Weihua, et al. "Theoretical and experimental study on optical polarization states in overhead optical cables under complex weather conditions such as real lightning." Laser Physics 35.1 (2025): 015101.

2. Krummrich, Peter M., et al. "Demanding response time requirements on coherent receivers due to fast polarization rotations caused by lightning events." Optics express 24.11 (2016): 12442-12457.

3. Charlton, Douglas, et al. "Field measurements of SOP transients in OPGW, with time and location correlation to lightning strikes." Optics Express 25.9 (2017): 9689-9696.

4. Belova, O. S., et al. "Quantum Key Distribution Through All-Dielectric Cable Under Close Lightning Strike." 2025 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). IEEE, 2025.

5. Belova, O. S., et al. "Features of Functioning of Modern Communication Systems in the Presence of Thunderstorm Activity." Technical Physics 70.5 (2025): 135-142.

УДК 551.508.77
ГРНТИ 37.21.23
ВАК 1.6.8

Использование лазерного дисдрометра в составе системы синхронного мониторинга параметров осадков и турбулентных характеристик приземной атмосферы

Богушевич А.Я., Кальчихин В.В., Кобзев А.А., *Тихомиров А.А., Тельминов А.Е.

Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук,
634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3
*email: bay@imces.ru, vvk@imces.ru, kaa@imces.ru, *tikhomirov@imces.ru, talexey@imces.ru*

Представлено описание возможностей лазерного дисдрометра для синхронной регистрации параметров жидких осадков в комплексе с ультразвуковой метеостанцией. Показано, что такой измерительный комплекс позволяет количественно отслеживать изменения турбулентных характеристик приземного слоя в дождевых эпизодах.

Лазерный дисдрометр [1], разработанный в ИМКЭС СО РАН, реализует метод анализа теневых изображений частиц, пересекающих измерительную площадку. Принцип работы основан на регистрации затенения элементов линейного сенсора плоским коллимированным световым потоком, что позволяет определять размер, форму и скорость падения каждой капли, а также вычислять интегральные характеристики осадков – интенсивность (в мм/ч) и суммарное количество (в мм).

Ультразвуковая метеостанция АМК-04, обеспечивает синхронную регистрацию температуры и трёх компонент скорости ветра с частотой 80 Гц. Такое сочетание приборов позволяет совмещать информацию о текущих параметрах осадков с высокочастотными данными о турбулентных пульсациях в единый массив данных с временным разрешением 1 минута. Дополнительно для контроля радиационного баланса применялся пиранометр CMP11.

Для демонстрации информативности метода проведена обработка синхронных измерений в период летнего сезона 2023 г., результаты которой опубликованы в [2]. Анализ данных показал, что дисдрометр позволяет с высоким разрешением регистрировать начало, пик и окончание дождевых эпизодов, а также интенсивность их выпадения. Сопоставление этих данных с турбулентными характеристиками (энергия температурных и ветровых флуктуаций, потоки явного тепла и импульса) демонстрирует чувствительность измерительного комплекса к процессам затухания турбулентности и изменения стратификации приземного слоя под воздействием осадков.

Таким образом, лазерный дисдрометр в сочетании с ультразвуковой метеостанцией представляет собой эффективный инструмент для синхронного мониторинга гидрометеорологических параметров. Применение данного комплекса позволяет количественно связывать изменения параметров осадков с динамикой турбулентных процессов и может быть полезно при интерпретации данных дистанционного зондирования и верификации моделей пограничного слоя.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН.

Список литературы

1. Kalchikhin V.V. Determination of the Rate of Fall of Rain Drops in Measurements of Their Parameters by an Optical Rain Gauge / Kalchikhin V.V., Kobzev A.A., Korolkov V.A., Tikhomirov A.A. // Measurement Techniques. –2017. – V. 59. – № 11. – P. 1175–1180.

2. Богушевич А.Я. Экспериментальная оценка воздействия кратковременных ливневых осадков на характеристики турбулентности в приземной атмосфере / Богушевич А.Я., Кобзев А.А., Кальчихин В.В., Тельминов А.Е., Тихомиров А.А. // Оптика атмосф. и океана. – 2025. – Т. 38, № 5. – С. 346–352.

Usage of the laser disdrometer as part of a synchronous monitoring system for precipitation parameters and turbulent characteristics of the surface atmosphere

Bogushevich A.Ya., Kalchikhin V.V., Kobzev A.A., *Tikhomirov A.A., Telminov A.E.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 634055, Russia, Tomsk, Akademicheskii ave. 10/3

*email: bay@imces.ru, vvk@imces.ru, kaa@imces.ru, *tikhomirov@imces.ru, talexey@imces.ru*

A description is presented of the capabilities of a laser disdrometer for synchronous recording of liquid precipitation parameters in combination with an ultrasonic weather station. It is shown that such a measuring complex makes it possible to quantitatively track changes in the turbulent characteristics of the surface layer during rainfall events.

The laser disdrometer [1], developed at IMCES SB RAS, implements the method of analyzing shadow images of particles crossing the measuring area. The operating principle is based on recording the shading of elements of a linear sensor by a flat collimated light flux, which makes it possible to determine the size, shape and fall velocity of each drop, as well as to calculate the integral characteristics of precipitation — intensity (in mm/h) and total amount (in mm).

The AMK-04 ultrasonic weather station provides synchronous recording of temperature and three components of wind speed at a frequency of 80 Hz. This combination of instruments makes it possible to combine information on the current precipitation parameters with high-frequency data on turbulent fluctuations into a single data array with a time resolution of 1 minute. Additionally, a CMP11 pyranometer was used to monitor the radiation balance.

To demonstrate the information content of the method, synchronous measurements taken during the summer season of 2023 were processed, the results of which were published in [2]. Data analysis showed that the disdrometer makes it possible to record with high resolution the beginning, peak and end of rainfall events, as well as their intensity. Comparison of these data with turbulent characteristics (energy of temperature and wind fluctuations, fluxes of sensible heat and momentum) demonstrates the sensitivity of the measuring complex to the processes of turbulence decay and changes in the stratification of the surface layer under the influence of precipitation.

Thus, the laser disdrometer in combination with an ultrasonic weather station is an effective tool for synchronous monitoring of hydrometeorological parameters. The use of this complex makes it possible to quantitatively link changes in precipitation parameters with the dynamics of turbulent processes and can be useful in interpreting remote sensing data and verifying boundary layer models.

The work was carried out within the framework of the state assignment of IMCES SB RAS.

References

1. Kalchikhin V.V., Kobzev A.A., Korolkov V.A., Tikhomirov A.A. Determination of the Rate of Fall of Rain Drops in Measurements of Their Parameters by an Optical Rain Gauge // Measurement Techniques. – 2017. – V. 59. – № 11. P. – 1175–1180.

2. Bogushevich A.Ya., Kobzev A.A., Kalchikhin V.V., Telminov A.E., Tikhomirov A.A. Experimental assessment of the impact of short-term torrential precipitation on turbulence characteristics in the near-surface atmosphere // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2025. – V. 38. – № 5. – P. 346–352.

УДК 621.39:530.145, 681.7
ГРНТИ 29.31
ВАК 1.3.19

Пространственное мультиплексирование в системах квантового распределения ключей

[1,2*] Болтанский М.В., [3,4]Косова Ю. А.

[1] Московский физико-технический институт. Адрес: 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9.

[2] КуРэйт, Москва, Россия.

[3] Российский университет транспорта РУТ (МИИТ), 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр.9

[4] Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), 111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная, д.8А

*email: * m.boltanskiy@goqrate.com*

Системы квантового распределения ключей (КРК) используются для генерации криптографического ключа, секретность которого гарантируется законами физики. [1].

Одной из главных задач в области внедрения систем КРК в существующую инфраструктуру является сочетание ослабленных лазерных импульсов, используемых для генерации ключа с классическими информационными сигналами (интернет, синхронизация и пр.).

Квантовые сигналы обладают средней интенсивностью <1 фотон\импульс, в связи с чем для их детектирования используются детекторы одиночных фотонов (ДОФ), сильно страдающие от внешних световых сигналов, что делает сосуществование квантовых и классических сигналов проблематичным [2]. Тем не менее, такая задача является актуальной, так как создание отдельной оптической сети, выделенной исключительно под квантовые сигналы, является слишком ресурсозатратным. Технологии мультиплексирования оптических сигналов призваны решить данную проблему, предлагая инструменты по сведению и разведению оптических сигналов в едином волокне.

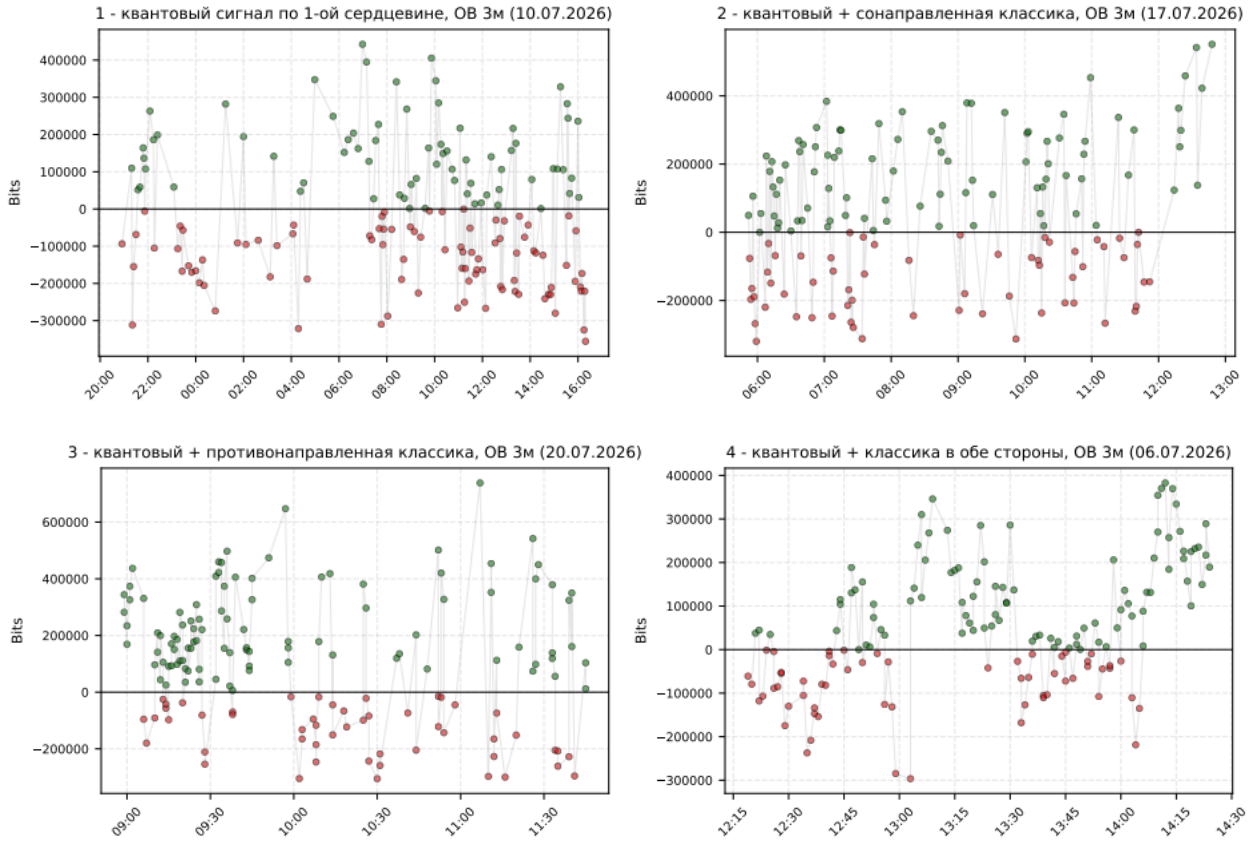


Рисунок 1. Длина секретного ключа за блок (в битах) при разных конфигурациях сигналов в MCF.

В данной работе рассматривается квантовое распределение ключей через многосердцевинное волокно (MCF) [3,4] и влияние классических сигналов, передаваемых по тому же волокну, на данный процесс. Показано, что даже в образце короткой линии (3 метра), перекрестные помехи оказывают заметное влияние на процесс КРК.

На рисунке 1 продемонстрированы результаты генерации секретного ключа (150 блоков) при разных конфигурациях классического сигнала.

Заметно, что классический сигнал в любой конфигурации ведет к уменьшению количества успешных блоков (блоков с положительным числом бит секретного ключа). Более подробные результаты, описание эксперимента и анализ будут представлены в докладе.

Список литературы

1. Wootters W. K., Zurek W. H. A single quantum cannot be cloned //Nature. – 1982. – Т. 299. – №. 5886. – С. 802-803.

2. Eraerds P. et al. Quantum key distribution and 1 Gbps data encryption over a single fibre //New Journal of Physics. – 2010. – Т. 12. – №. 6. – С. 063027.

3. Применение многосердцевинных оптических волокон для квантовых сетей / О. Егорова, К. Ерохин, С. Журавлев [и др.] // Первая миля. – 2022. – № 8(108). – С. 44-51. – DOI 10.22184/2070-8963.2022.108.8.44.51. – EDN YQNLFU.

4. Наукометрический анализ перспектив развития многосердцевинных и полых световодов / Ю. А. Косова, К. Ш. Автандилов, С. В. Павлов // I-methods. – 2025. – Т. 17, № 4. – EDN ZKIATB.

Space division multiplexing for quantum key distribution systems

1,2* Boltanskii M.V., 3,4Kosova Yu.A.

[1] Moscow Institute of Physics and Technology, 117303, Russia, Moscow,

[2] Limited Liability Company "QRate", 143026, Russia, Moscow

[3] Russian University of Transport (MIIT), 127994, Russia, Moscow, Obraztsova street, 9/9

[4] Moscow Technical University of Communications and Informatics, 111024, Russia, Moscow, str. Aviamotornaya 8a

*email: * m.boltanskiy@goqrate.com*

Quantum key distribution (QKD) systems are used to generate cryptographic keys whose secrecy is guaranteed by the laws [1]. One of the main challenges in integrating QKD systems into existing infrastructure is the coexistence of attenuated laser pulses used for key generation (conventionally referred to as quantum signals) with classical information signals (Internet, synchronization, etc.). Quantum signals have an average intensity of <1 photon per pulse; therefore, single-photon detectors (SPDs) are employed for their detection. These detectors are highly susceptible to external optical signals, making the coexistence of quantum and classical signals problematic [2]. Nevertheless, this problem is relevant because building a separate optical network dedicated solely to quantum signals would be too resource-intensive. Optical multiplexing technologies are intended to address this issue by providing tools for combining and separating optical signals within a single fiber.

In this work, we study quantum key distribution over a multicore fiber (MCF) [3,4] and the effect of classical signals transmitted through the same fiber on this process. It is shown that even in a short-line sample (3 meters), crosstalk has a noticeable impact on the QKD process. Figure 1 presents the results of secret-key generation (150 blocks) under different configurations of the classical signal.

УДК543.424
ГРНТИ 29.31.27
ВАК 01.04.05

Рамановская спектроскопия для оценки влияния пасты на основе аллогенного гидроксиапатита на эмаль коренных зубов коровы

Н.Р. Валиева[1], П.И. Пятаева[1], Е.В. Писарева[1], Е.В. Тимченко[1,2], М.Ю. Власов[1,2], П.Е. Тимченко[1], Л.Т. Волова[1,2]

[1]Самарский университет, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе34
[2]Самарский государственный медицинский университет, 443099, Россия, г. Самара, ул. Чапаевская89
*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

Повреждения зубной эмали являются частой причиной нарушений обмена дентальных тканей, что приводит к развитию стоматологических заболеваний. Поиск и совершенствование активных компонентов зубных паст для восстановления эмали на ранних стадиях её разрушения является ключевым направлением усовершенствования подходов в профилактике кариеса. Распространенность данной проблемы стимулирует создание безопасных формул зубных паст с целью снижения инвазивности лечения и ускорения процессов реминерализации.

Для оценки эффективности зубной пасты могут быть применены оптические методы исследования, которые нашли широкое распространение для решения биомедицинских задач [1,2]. Среди оптических методов неразрушающим оперативным методом анализа биообъектов является рамановская спектроскопия, которая может быть использована для оценки эффективности применения зубных паст.

Цель работы – возможности применение рамановской спектроскопии для оценки влияния пасты на основе природного аллогенного гидроксиапатита (ГАП) на эмаль коренных зубов коровы.

В качестве объектов исследований была использована эмаль коренных зубов коровы, расположенных на челюсти коровы. Было исследовано 8 коренных зубов до и после обработки эмали смесью на основе зубной пасты с добавлением порошка аллогенного ГАП (15%), выделенного из диафизных участков бедренной кости коровы. Объекты исследований были условно разделены на 2 группы: группа 1 - эмаль зубов коровы до обработки пастой на основе ГАП (контрольная группа), группа 2 – эмаль зубов коровы после обработки пастой на основе ГАП

Поверхность зубов механически очищали от органических загрязнений, промывали дистиллированной водой, высушивали и шлифовали полученной смесью в течение 1 часа, после чего промывали водой, высушивали. Далее регистрировали рамановские спектры эмали с помощью специализированного экспериментального стенда, включающего высокоразрешающий цифровой спектрометр Shamrock sr-303i со встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE (спектральный диапазон 200-1200 нм), волоконно-оптический зонд RPB-785 для спектроскопии КР, совмещённый с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 (длина волны лазерного излучения - 785 нм и мощностью излучения до 500мВт). Последующая обработка полученных рамановских спектров проводилась в специализированной программе RS-TOOL Ver 1.1.1, алгоритм обработки и получения нормализованных рамановских спектров с вычитанием флуоресцентной составляющей подробно описан в работе [3]. После данной обработки полученные спектры анализировались с помощью хемометрического анализа, реализованного в той же программе.

Проведенный спектральный анализ с использованием хемометрических подходов позволил определить спектральные изменения в эмали зубов коровы после нанесения новой пасты на основе аллогенного ГАП, которые проявляются в изменении как минеральных составляющих ~428 $см^{-1}$ (Symmetric stretching vibration of ν2 PO_4^{3-} (phosphate of HA)), ~960 $см^{-1}$ (Symmetric stretching vibration of ν1 PO_4^{3-} (phosphate of HA) и связаны с замещением B-типа в гидроксиапатите, так и органических компонент входящих в состав эмали зубов 620 $см^{-1}$ (C-C twisting mode of phenylalanine (proteins)), 850 $см^{-1}$ (associated with proline), 1250 $см^{-1}$ (Amide III (N-H)), 1560 $см^{-1}$ (Amide II), 1660 (Amide I (C = O))). Данные изменения, по-видимому, обусловлены реминерализацией и восстановлением микротрещин эмали зубов коровы при использовании пасты на основе аллогенного ГАП.

Полученные результаты исследований показывают возможность применения рамановской спектроскопии в доклинических испытаниях новой пасты на основе ГАП с использованием зубов человека.

Список литературы

1. В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин Известия РАН, Серия Физическая, 2015, т. 79, №2, с 170-180.
2. В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин Оптика и спектроскопия 1997, т.82, №5, с.873-875.
3. Frolov O.O., Timchenko P.E., Timchenko E.V., Volova L.T. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering 2024. — Vol. 10. Issue 3. № 3

Raman Spectroscopy to Assess the Effect of Allogeneic Hydroxyapatite-Based Toothpaste on Bovine Molar Enamel

N.R. Valieva[1], P.I. Pyataeva[1], E.V. Pisareva[1], E.V. Timchenko[1,2], M.Yu. Vlasov[1,2], P.E. Timchenko[1], L.T. Volova[1,2]

[1]Samara University, 34 Moskovskoe Shosse, Samara, 443086, Russia
[2]Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya St., Samara, 443099, Russia
*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

Damage to tooth enamel is a common cause of metabolic disorders in dental tissues, leading to the development of dental diseases. The search for and improvement of active components in toothpastes for enamel restoration at the early stages of its destruction is a key area for improving approaches to caries prevention. The prevalence of this problem stimulates the development of safe toothpaste formulas to reduce treatment invasiveness and accelerate remineralization processes.

Optical research methods, which have found widespread use in biomedical applications [1, 2], can be used to evaluate toothpaste effectiveness. Among these optical methods, Raman spectroscopy is a non-destructive, operational method for analyzing biological objects, which can be used to evaluate the effectiveness of toothpastes.

The aim of this study was to explore the potential of using Raman spectroscopy to evaluate the effect of a toothpaste based on natural allogeneic hydroxyapatite (HAP) on the enamel of bovine molars.

The study subjects were the enamel of bovine molars located on the jaw. Eight molars were examined before and after enamel treatment with a toothpaste-based mixture supplemented with 15% allogeneic HAP powder isolated from the diaphyseal sections of a bovine femur. The study subjects were divided into two groups: Group 1 – cow tooth enamel before treatment with a HA-based paste (control group); Group 2 – cow tooth enamel after treatment with a HA-based paste.

The tooth surfaces were mechanically cleaned of organic contaminants, rinsed with distilled water, dried, and polished with the resulting mixture for 1 hour, then rinsed with water and dried. Raman spectra of the enamel were then recorded using a specialized experimental setup, including a Shamrock sr-303i high-resolution digital spectrometer with a built-in DV420A-OE cooled chamber (spectral range 200-1200 nm) and an RPB-785 fiber-optic probe for Raman spectroscopy, coupled with a LuxxMaster LML-785.0RB-04 laser module (laser wavelength 785 nm, output power up to 500 mW). Subsequent processing of the obtained Raman spectra was performed using the specialized program RS-TOOL Ver 1.1.1. The algorithm for processing and obtaining normalized Raman spectra with subtraction of the fluorescent component is described in detail in [3]. Following this processing, the obtained spectra were analyzed using chemometric analysis implemented in the same program. The spectral analysis carried out using chemometric approaches allowed us to determine the spectral changes in the enamel of cow teeth after applying a new paste based on allogeneic HA, which are manifested in changes in both mineral components ~428 cm-1 (Symmetric stretching vibration of ν2 PO43- (phosphate of HA)), ~960 cm-1 (Symmetric stretching vibration of ν1 PO43- (phosphate of HA) and are associated with the B-type substitution in hydroxyapatite, and organic components included in the composition of tooth enamel 620 cm-1 (C-C twisting mode of phenylalanine (proteins)), 850 cm-1 (associated with proline), 1250 cm-1 (Amide III (N-H)), 1560 cm-1 (Amide II), 1660 (Amide I (C = O))). These changes are likely due to remineralization and restoration of microcracks in cow tooth enamel when using a toothpaste based on allogeneic HAp.

These study results demonstrate the potential for using Raman spectroscopy in preclinical trials of a new HAp-based toothpaste using human teeth.

References

1. V.E. Privalov, V.G. Shemanin, Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Physical Series, 2015, Vol. 79, No. 2, pp. 170-180.

2. V.E. Privalov, V.G. Shemanin, Optics and Spectroscopy, 1997, Vol. 82, No. 5, pp. 873-875.

3. O. O. Frolov, P. E. Timchenko, E. V. Timchenko, L. T. Volova. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering 2024. - Vol. 10. Issue 3. No. 3

УДК 621.373.5
ГРНТИ 29.33.15
ВАК 1.3.19

Высоковольтный и высокочастотный генератор наносекундных импульсов

*** Вальшин А. М.**

Уфимский университет науки и технологий, 450076, Россия, г.Уфа, ул. Заки Валиди 32
*email: * amvals@mail.ru*

Традиционно генераторы высоковольтных наносекундных импульсов строятся на ламповых или тиратронных коммутаторах.

В настоящее время происходит быстрый прогресс в области создания генераторов на основе использования MOSFET и IGBT транзисторов, а также диодов ударной ионизацией и дрейфовых диодов с резким восстановлением [1].

В данной работе продемонстрирован высоковольтный и высокочастотный генератор наносекундных импульсов на основе карбид кремниевых транзисторов (SiC) и дрейфовых диодов с резким восстановлением. Генератор вырабатывает импульсы длительностью 20 нс, амплитудой до 12 кВ и частотой следования импульсов до 1 МГц в импульсно-периодическом режиме. Проведены исследования по замене высокочастотного поджига в работах [2,3] на высоковольтный и высокочастотный генератор наносекундных импульсов.

Список литературы

1. Коротков С.В. и др. Генератор высоковольтных наносекундных импульсов на основе динисторов с ударной ионизацией //Приборы и техника эксперимента. – 2023. – №. 6. – С. 23-27.

2. Вальшин А. М. и др. Высокочастотный розжиг лампы YAG: Nd3+-лазера с кратным уменьшением интенсивности излучения видимого диапазона //Журнал прикладной спектроскопии. – 2025. – Т. 92. – №. 2. – С. 211-215.

3. Вальшин А.М. и др. Высокочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров //Доклады Российской Академии Наук. Физика, Технические Науки. – 2022. Т. 502. С. 67-72.

High-voltage and high-frequency nanosecond pulse generator

*** Valshin A. M.**

Ufa University of Science and Technology, 450076, Russia, Ufa, Zaki Validi 32
*email: * amvals@mail.ru*

Traditionally, high-voltage nanosecond pulse generators are built on tube or thyratron switches.

Currently, there is rapid progress in the field of creating generators based on the use of MOSFET and IGBT transistors, as well as shock ionization diodes and drift diodes with sharp recovery [1].

In this paper, a high-voltage and high-frequency nanosecond pulse generator based on silicon carbide transistors (SiC) and drift diodes with abrupt reduction is demonstrated. The generator generates pulses with a duration of 20 ns, an amplitude of up to 12 kV and a pulse repetition rate of up to 1 MHz in a pulse-periodic mode. Studies have been conducted to replace high-frequency ignition in [2,3] with a high-voltage and high-frequency nanosecond pulse generator.

References

1. Korotkov S.V. et al. Generator of high-voltage nanosecond pulses based on dinistors with impact ionization. Instruments and experimental equipment. - 2023. - No. 6. - pp. 23-27

2. Valshin A. M. et al. High-Frequency Ignition of a YAG: Nd3+ Laser Lamp with a Multiple Decrease of Visible Radiation Intensity. Journal of Applied Spectroscopy. – 2025. – Vol.92, No. 2. – pp. 288-292.

3. Valshin A. M. et al. High-frequency (MHz) ignition of commercial flash lamps for solid state lasers. Doklady Physics. – Moscow: Pleiades Publishing, 2022. – Vol. 67. – №. 1. – pp. 32-37.

УДК 621.373.5, 621.373.826
ГРНТИ 29.33.15
ВАК 1.3.19

Высокочастотный поджиг и раскачка ламп-вспышек для твердотельных лазеров в импульсно-периодическом режиме

*** Вальшин А. М., Абзалилов Д. А.**

Уфимский университет науки и технологий, 450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди 32
*email: * amvals@mail.ru*

Одной из актуальных проблем физики газовых разрядов является поиск новых способов возбуждения активных сред.

Большинство исследователей используют промышленные генераторы ВЧ колебаний или импульсный индукционный способ возбуждения. Особенностью зажигания импульсного индукционного разряда в инертных газах состоит в том, что колебательный процесс является затухающим.

В данной работе проводятся исследования процессов возникновения и развития газоразрядных процессов с помощью транзисторных высокочастотных генераторов перестраиваемой частоты, работающих в импульсно-периодическом режиме с регулируемой длительностью и частоты следования пачки импульсов в широком диапазоне. Экспериментальная установка состоит из транзисторного высокочастотного генератора синусоидальных колебаний, благодаря малому выходному сопротивлению непосредственно подключается в последовательный колебательный контур без необходимости в согласующем устройстве.

В работе проведены исследования процессов возникновения и развития газоразрядных процессов. Продемонстрирована возможность получения как одностримерного канала разряда, так и многостримерного канала разряда.

Список литературы

1. Вальшин А. М. и др. Высокочастотный розжиг лампы YAG: Nd3+-лазера с кратным уменьшением интенсивности излучения видимого диапазона //Журнал прикладной спектроскопии. – 2025. – Т. 92. – №. 2. – С. 211-215.

2. Вальшин А.М. и др. Высокочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров //Доклады Российской Академии Наук. Физика, Технические Науки. – 2022. Т. 502. С. 67-72.

High-frequency ignition and rocking of flash lamps for solid-state lasers in pulse-periodic mode

*** Valshin A. M., Abzalilov D. A.**

Ufa University of Science and Technology, 450076, Russia, Ufa, Zaki Validi 32
*email: * amvals@mail.ru*

One of the urgent problems of gas discharge physics is the search for new ways to excite active media.

Most researchers use industrial RF oscillators or a pulsed induction excitation method. The peculiarity of the ignition of a pulsed induction discharge in inert gases is that the oscillatory process is damped.

In this paper, studies of the processes of occurrence and development of gas discharge processes are carried out using transistor high-frequency tunable frequency generators operating in a pulse-periodic mode with an adjustable duration and frequency of repetition of a burst of pulses in a wide range. The experimental setup consists of a transistor high-frequency sinusoidal oscillator, which, due to its low output resistance, is directly connected to a serial oscillatory circuit without the need for a matching device.

The paper studies the processes of occurrence and development of gas discharge processes. The possibility of obtaining both a single-dimensional discharge channel and a multi-dimensional discharge channel is demonstrated.

References

1. Valshin A. M. et al. High-Frequency Ignition of a YAG: Nd3+ Laser Lamp with a Multiple Decrease of Visible Radiation Intensity. Journal of Applied Spectroscopy. – 2025. – Vol.92, No. 2. – pp. 288-292.

2. Valshin A. M. et al. High-frequency (MHz) ignition of commercial flash lamps for solid state lasers. Doklady Physics. – Moscow: Pleiades Publishing, 2022. – Vol. 67. – №. 1. – pp. 32-37.

УДК 621.373.826
ГРНТИ 29.33.15
ВАК 1.3.19

Деформация спектров излучения в импульсных лампах для твердотельных лазеров при высокочастотной накачке

[*] Вальшин А. М., Абзалилов Д. А.

Уфимский университет науки и технологий, 450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди 32
email: [*] amvals@mail.ru

Накачка больших лазерных комплексов осуществляется только цилиндрическими лампами вспышками с помощью традиционной емкостной накачки. При этом эффективность такой накачки не превышает доли процентов.

В работах [1,2] было продемонстрировано 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное повышение КПД Nd^3+:YAG лазера при высокочастотной накачке.

Целью данной работы является исследование деформации спектров излучений плазмы при высокочастотной накачке. Эксперименты продемонстрировали, что в лампах, заполненных криптоном, при высокочастотной накачке сплошной спектр излучения существенно ослабляются по отношению к традиционной накачке, в то время как, интенсивность линейчатого спектра увеличивается. А в лампах, заполненных ксеноном существенных изменений не происходит независимо от методов накачки. Таким образом, при высокочастотной накачке предпочтительно использовать в качестве лампы накачки криптоновую лампу по сравнению с ксеноновой лампой. Это в свою очередь может привести к существенному увеличению КПД твердотельного лазера на гранате при высокочастотном поджиге и высокочастотной раскачке.

Список литературы

1. Вальшин А. М. и др. Высокочастотный розжиг лампы YAG: Nd3+-лазера с кратным уменьшением интенсивности излучения видимого диапазона //Журнал прикладной спектроскопии. – 2025. – Т. 92. – №. 2. – С. 211-215.

2. Вальшин А.М. и др. 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное увеличение КПД Nd3+:YAG лазера при ВЧ раскачке поджига лампы. Инженерная физика. – 2023. – №12. – С.3-10.

Deformation of radiation spectra in pulsed lamps for solid-state lasers under high-frequency pumping

[*] Valshin A. M., Abzalilov D. A.

Ufa University of Science and Technology, 450076, Russia, Ufa, Zaki Validi 32
email: [*] amvals@mail.ru

Pumping of large laser complexes is carried out only by cylindrical flash lamps using traditional capacitive pumping. At the same time, the efficiency of such pumping does not exceed a fraction of a percent.

In [1,2], a 3-fold decrease in the generation threshold and a 2-fold increase in the efficiency of the Nd3+:YAG laser under high-frequency pumping were demonstrated.

The purpose of this work is to study the deformation of plasma radiation spectra during high-frequency pumping. Experiments have shown that in lamps filled with krypton, with high-frequency pumping, the continuous radiation spectrum is significantly attenuated relative to traditional pumping, while the intensity of the linear spectrum increases. And in lamps filled with xenon, no significant changes occur regardless of the pumping methods. Thus, for high-frequency pumping, it is preferable to use a krypton lamp as a pumping lamp compared to a xenon lamp. This, in turn, can lead to a significant increase in the efficiency of a solid-state laser on a grenade during high-frequency ignition and high-frequency rocking.

References

1. Valshin A. M. et al. High-Frequency Ignition of a YAG: Nd3+ Laser Lamp with a Multiple Decrease of Visible Radiation Intensity. Journal of Applied Spectroscopy. – 2025. – Vol.92, No. 2. – pp. 288-292.

2. Valshin A.M. et al. 3-fold decrease in the generation threshold and 2-fold increase in the efficiency of the Nd3+:YAG laser with RF pumping of the lamp ignition. Engineering Physics. - 2023. - No. 12. - P. 3-10.

УДК 621.373.826
ГРНТИ 29.33.15
ВАК 1.3.19

Твердотельный лазер на гранате с гибридной накачкой

*** Вальшин А. М., Абзалилов Д. А.**

Уфимский университет науки и технологий, 450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди 32
*email: * amvals@mail.ru*

Ранее нами было показано увеличение эффективности светоотдачи и изменение эффективного канала разряда в газоразрядных лампах при переходе от традиционной импульсной накачки к высокочастотной накачке, а также было продемонстрировано 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное повышение КПД Nd^3+:YAG лазера при высокочастотной накачке [1,2].

Нами предлагается использовать метод гибридной накачки для дальнейшего повышения эффективности лазера на гранате. На первом этапе накачки лампа поджигается генератором высоковольтных наносекундных импульсов, далее после поджига лампы включается высокочастотная раскачка-розжиг канала разряда с последующим разрядом традиционной емкостной накачки.

Генератор наносекундных импульсов вырабатывает пачку биполярных импульсов наносекундной длительности для поджига лампы, а высокочастотный генератор перестраиваемой частоты служит для уширения канала разряда и уменьшения импеданса плазмы в лампе. В дальнейшем происходит разряд традиционной емкостной накачки.

В докладе будет представлено работа лазера на гранате с гибридной накачкой. Также будут представлены полученные зависимости параметров излучения от накачки при разных длительностях и мощностях импульсов ВЧ генераторов и емкостной накачки.

Список литературы

1. Вальшин А.М. и др. Высокочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров //Доклады Российской Академии Наук. Физика, Технические Науки. – 2022. Т. 502. С. 67-72.

2. Вальшин А.М и др. 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное увеличение КПД ND3+:YAG лазера при ВЧ раскачке поджига лампы. Инженерная физика, №12 (2023) С.3-10.

Hybrid-pumped solid-state garnet laser

*** Valshin A. M., Abzalilov D. A.**

Ufa University of Science and Technology, 450076, Russia, Ufa, Zaki Validi 32
*email: * amvals@mail.ru*

Previously, we showed an increase in the efficiency of light output and a change in the effective discharge channel in gas-discharge lamps during the transition from traditional pulsed pumping to high-frequency pumping, and also demonstrated a 3-fold decrease in the generation threshold and a 2-fold increase in the efficiency of the Nd3+:YAG laser during high-frequency pumping [1,2].

We propose to use the hybrid pumping method to further enhance the effectiveness of the laser on the grenade. At the first stage of pumping, the lamp is ignited by a generator of high-voltage nanosecond pulses, then after igniting the lamp, high-frequency pumping is activated-ignition of the discharge channel, followed by discharge of traditional capacitive pumping.

A nanosecond pulse generator generates a burst of bipolar nanosecond pulses to ignite the lamp, and a high-frequency tunable frequency generator serves to widen the discharge channel and reduce the impedance of the plasma in the lamp. In the future, the discharge of traditional capacitive pumping occurs.

The report will present the operation of a laser on a hybrid-pumped grenade. The obtained dependences of radiation parameters on pumping at different pulse durations and powers of RF generators and capacitive pumping will also be presented.

References

1. Valshin A. M. et al. High-frequency (MHz) ignition of commercial flash lamps for solid state lasers. Doklady Physics. – Moscow: Pleiades Publishing, 2022. – Vol. 67. – №. 1. – pp. 32-37.

2. Valshin A.M. et al. 3-fold decrease in the generation threshold and 2-fold increase in the efficiency of the Nd3+:YAG laser with RF pumping of the lamp ignition. Engineering Physics. - 2023. - No. 12. - P. 3-10.

УДК 504.064.37
ГРНТИ 87.15.15, 87.17.15
ВАК 05.11.13

Переносной аэрозольный лидар

[1*] Веденин Е. И., [1] Дьяченко В.В., [1] Никитин Н.И., [1] Чартий П.В., [2] Шеманин В.Г.

[1] Новороссийский политехнический институт(филиал) КубГТУ, Новороссийск, Россия
e-mail: [*] svetokdojdei@mail.ru
[2] Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия

Контроль параметров аэрозольных выбросов является актуальной задачей [1]. Наиболее подходящими для контроля параметров аэрозолей в реальном времени являются методы лазерного зондирования. Лидарные методы позволяют дистанционно измерять параметры аэрозольных частиц в атмосфере [2].

Создание переносной модели аэрозольного лидара позволяет отказаться от установки на каждый источник выбросов своё автономное устройство, проводя фактически одним устройством контроль одновременно несколько, близких по своим характеристикам источников выбросов, расширить область и повысить удобство применения дистанционного зондирования за счет сокращения массы и габаритов устройства, сократить экономические издержки за счет уменьшения количества составных элементов устройства. Сокращение числа передающих лазерное излучение элементов ведет к уменьшению потерь излучения, упрощению юстировки устройства и уменьшению погрешностей, связанных с разъюстировкой оптических элементов. Применение системы двойного синхронного детектирования позволяет повысить чувствительность и точность измерения при обработке сигнала за счет снижения отношения полезного сигнала к шуму.

Таким образом, переносной аэрозольный лидар, обладая уменьшенными габаритами и массой, позволяет осуществлять дистанционное зондирование с повышенной точностью.

Список литературы

1. Веденин Е.И. Алгоритм работы аэрозольной лазерной системы дифференциального ослабления в реальном времени / Веденин Е.И., Сарычев И.А., Чартий П.В. // Лазеры. Измерения. Информация. 2022. Т. 2. № 4 (8). С. 30-37.

2. Веденин Е.И. Малогабаритный аэрозольный лидар / Веденин Е.И., Дьяченко В.В., Сарычев И.А., Чартий П.В., Шеманин В.Г. // Лазерно-информационные технологии 2025. Труды XXXIII Международной научной конференции. Новороссийск, 2025. С. 143-144.

Portable aerosol lidar

[1]*Vedenin E.I., [1]Dyachenko V.V., [1]Nikitin N.I., [1]Charty P.V., [2]Shemanin V.G.

*[1]Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) KubSTU, Novorossiysk, Russia, email: * svetokdojdei@mail.ru*
[2]Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia

The monitoring the parameters of aerosol emissions is a major task [1]. Laser sensing methods are the most suitable for monitoring aerosol parameters in real time. Lidar methods allow remote measurement of aerosol particle parameters in the atmosphere [2].

The creation of a portable aerosol lidar model makes it possible to eliminate the installation of an autonomous device on each emission source, effectively monitoring several similar emission sources simultaneously with one device, expand the scope and improve the usability of remote sensing by reducing the mass and dimensions of the device, and reduce economic costs by reducing the number of device components. Reducing the number of elements transmitting laser radiation leads to a reduction in radiation losses, simplification of device alignment and reduction of errors associated with the alignment of optical elements. The use of a dual synchronous detection system makes it possible to increase the sensitivity and accuracy of measurement during signal processing by reducing the ratio of the useful signal to noise. Thus, the portable aerosol lidar, having reduced dimensions and weight, allows remote sensing with increased accuracy.

References

1. Vedenin E.I. The algorithm of the aerosol laser differential attenuation system in real time / Vedenin E.I., Sarychev I.A., Charty P.V. // Lasers. Measurements. Information. 2022. V. 2. No. 4 (8). P. 30-37.

2. Vedenin E.I. Compact aerosol lidar / Vedenin E.I., Dyachenko V.V., Sarychev I.A., Charty P.V., Shemanin V.G. // Laser information technologies 2025. Proc. XXXIII International Conference. Novorossiysk, 2025. P. 143-144.

УДК 53.08, 535.2
ГРНТИ 29.03.45, 29.03.77
ВАК 1.3.2

Исследование аэрозольных потоков лидаром дифференциального ослабления

Веденин Е.И., Кабанов С.Ю., Сарычев И.А., Чартий П.В., Шеманин В.Г.

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, e-mail: pvc-60@yandex.ru)

Метод дифференциального ослабления основан на решении обратной задачи лазерного зондирования [1]. Физическая модель метода основана на взаимодействии монохроматического излучения с полидисперсной средой по теории Ми [2] и сохранения инвариантности усредненного фактора эффективности ослабления относительно вида функции распределения частиц по размерам [1, 3]. Средний объемно-поверхностный диаметр аэрозольных частиц d_{32} определяется путем измерения оптической плотности исследуемого аэрозоля на нескольких длинах волн и вычисления усредненных факторов эффективности ослабления для этих длин волн. Отношение измеренных оптических плотностей на двух длинах волн равно отношению рассчитанных усредненных факторов эффективности ослабления и выражает функцию среднего размера частиц [1]

$\tau_{\lambda_i}/\tau_{\lambda_j} = \overline{Q}(x, \lambda_i, m)/\overline{Q}(x, \lambda_j, m) = F_{ij}(d_{32})$, причем диапазон измерений средних размеров частиц определяется длинами волн зондирующего излучения. Для решения задачи восстановления функции распределения аэрозольных частиц по размерам и измерения их концентрации разработана экспериментальная лазерная система на основе моностатического лидара дифференциального ослабления и рассеяния Ми. Через поток аэрозоля, сформированный при импульсной инжекции на выходе газохода и проходящий перпендикулярно лазерному лучу, пропускались три луча лазеров с длинами волн 405, 650 и 1064 нм, которые в схеме дифференциального ослабления направлялись на один фотоприемник ослабления со своей схемой обработки сигнала. Измеренные сигналы ослабления позволяют рассчитать средний объемно-поверхностный диаметр аэрозольных частиц цемента. Сигналы с выхода фотоприемника регистрировались системой сбора данных, работающей на линии с ПК [3, 4], работающих на частотах 5 -· 10^3 Гц. Экспериментально измеренным этим лидаром отношениям оптических плотностей сопоставлено рассчитанные отношения усредненных факторов эффективности ослабления, а по графику этой зависимости видно, что расчетное и экспериментальное отношения совпадают в пределах нашей погрешности. По измеренному отношению оптических плотностей было найдено отношение усредненных факторов эффективности ослабления и определена величина d_{32}.

Таким образом, разработанный экспериментальный лидар позволяет измерять в реальном времени сигналы ослабления лазерного излучения и рассчитывать по измеренным сигналам ослабления средний объемно-поверхностный диаметр аэрозольных частиц d_{32} [3].

Список литературы

1. Архипов В.А., Ахмадеев И.Р., Бондарчук С.С. и др. Модифицированный метод спектральной прозрачности измерения дисперсности аэрозолей. //Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 1. С. 48-52.

2. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М.: Мир, 1986. 660 с.

3. Половченко С.В., Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Восстановление функции распределения частиц по размерам на основе данных многоволнового лазерного зондирования. // Оптический журнал. 2016. Т.83. №5. С. 43-49.

4. Веденин Е.И., Половченко С.В.,Чартий П.В., Шеманин В.Г. Функции распределения частиц по размерам при различных режимах работы пылеулавливающего оборудования. //Безопасность в техносфере. 2016. № 1(58). С.41-47.

UDC 53.08, 535.2
GRNTI 29.03.45, 29.03.77
HAC 1.3.2

Studies of aerosol flows by lidar differential attenuation

Vedenin E.I., Kabanov S.Yu., Sarychev I.A., *Charty P.V., Shemanin V.G.

Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) Kuban State Technological University, Novorossiysk, e-mail: pvc-60@yandex.ru

The differential attenuation method is based on solving the inverse problem of laser sensing [1]. The physical model of the method is based on the interaction of monochromatic radiation with a polydisperse medium according to the Mie theory [2] and the preservation of the invariance of the average attenuation efficiency factor relative to the type of particle size distribution function [1, 3]. The average volume-surface diameter of aerosol particles d_{32} is determined by measuring the optical density of the aerosol under study at several wavelengths and calculating the average factors the attenuation efficiency for these wavelengths. The ratio of the measured optical densities at two wavelengths is equal to the ratio of the calculated average attenuation efficiency factors and expresses a function of the average particle size [1] $\tau_{\lambda_i}/\tau_{\lambda_j} = \overline{Q}(x,\lambda_i,m)/\overline{Q}(x,\lambda_j,m) = F_{ij}(d_{32})$, and the measurement range of average particle sizes is determined by the wavelengths of the probing radiation. To solve the problem of restoring the size distribution function of aerosol particles and measuring their concentration, an experimental laser system based on a monostatic lidar of differential attenuation and Mie scattering has been developed. Three laser beams with wavelengths of 405, 650, and 1064 nm were passed through the aerosol stream formed by pulsed injection at the outlet of the flue and passing perpendicular to the laser beam, which were directed in a differential attenuation circuit to one attenuation photodetector with its own signal processing circuit. The measured attenuation signals make it possible to calculate the average volume-surface diameter of aerosol cement particles. The signals from the photodetector output were recorded by a data acquisition system operating on a line with PC [3, 4] operating at frequencies of $5\text{-}10^3$ Hz. The ratios experimentally measured by this lidar are compared with the calculated ratios, and the graph of this dependence shows that the calculated ratio and the experimental ratio coincide within our experimental error. Based on the measured ratio of optical densities, the ratio of the average attenuation efficiency factors was found and the value of d_{32} was determined.

Thus, the developed experimental lidar makes it possible to measure the attenuation signals of laser radiation in real time and calculate the average volume-surface diameter of aerosol particles d_{32} from the measured attenuation signals [3].

References

1. Arkhipov V.A., Akhmadeev I.R., Bondarchuk S.S. et. al. A modified spectral transparency method for measuring aerosol dispersion. //Optics of the atmosphere and ocean. 2007. V. 20. No. 1. P. 48-52.

2. Boren K., Haufman D. Absorption and scattering of light by small particles. Moscow: Mir, 1986. 660 p.

3. Polovchenko S.V., Privalov V.E., Chartiy P.V., Shemanin V.G. Restoration of the particle size distribution function based on multiwave laser sensing data. // J. Optical Tech. 2016. V.83. No.5. P. 43-49.

4. Vedenin E.I., Polovchenko S.V., Chartiy P.V., Shemanin V.G. Particle size distribution functions under various operating modes of dust cleaning equipment. //Security in the technosphere. 2016. No. 1(58). P.41-47.

УДК 517.443, 519.2:004, 531.36
ГРНТИ 30.19.21
ВАК 1.3.19

Лазерная живопись – начало

*** Вейко В.П. [1], Горный С.Г. [2], Наволоцкая К.С.[1], Романова Г.В. [1],**

[1]Университет ИТМО; [2]ООО «Лазерный Центр»
*email: *vadim.veiko@mail.ru*

По мере развития лазерных технологий открываются новые, подчас неожиданные сферы их применения. К их числу с полным правом можно отнести лазерную живопись. В докладе представлен впервые предложенный и разработанный метод и инструмент для создания полноцветной художественной миниатюры. Предложенный ручной лазерный инструмент в руке художника позволил впервые рисовать многоцветные художественные композиции. В докладе обсуждаются физические принципы предложенного метода лазерной «живописи», приведена конструкция лазерной «кисти», а также даны примеры первых художественных произведений, созданных на основе этого нового подхода.

Метод основан на явлении локального лазерного окисления металлов, что позволяет создавать окисленные участки управляемой интерференционной толщины и конфигурации на поверхности, сочетание которых образует цветное изображение. Цвет различных участков поверхности в этом процессе определяется природой металла, окружающей атмосферы и толщиной образовавшегося оксида, которая, в свою очередь, определяется температурой поверхности и временем воздействия:

$$Ц \sim h_{ок} \sim T(q) \times t,$$

где Ц — наблюдаемый цвет обработанного участка, $h_{ок}$ — толщина оксидного слоя, T(q) — температура, до которой нагревается поверхность, как функция плотности мощности лазерного излучения q, t — время воздействия.

Представленный подход является дальнейшим развитием метода цветной лазерной маркировки. Когда в Институте лазерных технологий Университета ИТМО была показана возможность не только записи цветных изображений, но также программной и аппаратной корректировки их цвета и формы (ретуши) вплоть до полного преобразования элемента изображения в другой, и полного стирания (перезаписи изображения), [1], стало ясно, что этот метод готов для его применения в художественной практике. К тому же, в это же самое время массо-габаритные характеристики волоконных лазеров существенно уменьшились, и оставалось «только» создать ручной инструмент — «перо» или «кисть» художника. В результате содружества с сотрудниками ООО «Лазерный центр» в Санкт-Петербурге такой лазерный инструмент был создан на основе волоконного иттербиевого лазера непрерывного действия мощностью до 20 Вт, [2]. Используемый обычно для лазерной маркировки импульсный лазер наносекундной длительности не подходит для задач «ручного» рисования из-за сильного отражения металлической мишени — «холста» и самовозбуждения активной среды. При конструировании лазерной «кисти» были также учтены требования безопасности и эргономические соображения — угол наклона и др.

Ручной лазерный инструмент — лазерная «кисть», в руке художника (рис. 1) позволил впервые нарисовать сюжетные и орнаментальные композиции (рис. 2). В докладе более подробно обсуждаются физические принципы и подходы такой лазерной «живописи», приведена конструкция лазерной кисти и первые примеры художественных изображений, созданные с помощью этой новой техники и технологии. Обсуждаются также направления дальнейшего развития и проблемы создания новых «лазерных» красок, холстов и другого инструментария художника.



Рис. 1. Схема лазерной «кисти» в руке художника.



Рис. 2. «Попугай в тропическом лесу», автор Анастасия Морозова. Материал - титановая пластина, 10х10 см.

Авторы благодарят всех сотрудников Института Лазерных Технологий Университета ИТМО.

Список литературы

1. Veiko, V. P. Production of laser art miniatures using localized oxidation of metals / V. K. Luong, S. G. Gornyi, Y. M. Andreeva, D. S. Lutoshina, G. V. Odintsova // Journal of Optical Technology. — 2020. — №. 87. — P. 633-637. — DOI:10.1364/JOT.87.000633.

2. Veiko, V. P. Laser paintbrush as a tool for modern art / Y. Andreeva, L.Van Cuong, D. Lutoshina, D. Polyakov, D. Sinev, V. Mikhailovskii, Y. R. Kolobov, G. Odintsova // Optica. — 2021. — Vol. 8. — №. 5. — P. 577-585. — DOI: 10.1364/OPTICA.420074.

Laser painting – the beginning

*** Vadim Veiko [1], Sergey Gorny [2], Xeniya Navolotskaya[1], Galina Romanova [1],**

[1]ITMO University; [2]OOO «Laser Center»

*email: *vadim.veiko@mail.ru*

As laser technology advances, new, often unexpected, applications are opening up. This report presents the first proposed and developed method and tool for creating full-color artistic miniatures. The method is based on the phenomenon of local laser oxidation of metals under the influence of laser radiation and allows the creation of zones of spatially controlled interference thickness and shape, the combination of which forms a color optical image. The proposed hand-held laser tool, in the artist's hand, enabled the first multicolor artistic compositions. The report discusses the physical principles of the proposed laser "painting" method, describes the design of the laser "brush," and provides examples of the first works of art created using this new approach.

References

1. Veiko, V. P. Production of laser art miniatures using localized oxidation of metals / V. K. Luong, S. G. Gornyi, Y. M. Andreeva, D. S. Lutoshina, G. V. Odintsova // Journal of Optical Technology. — 2020. — №. 87. — P. 633-637. — DOI:10.1364/JOT.87.000633.

2. Veiko, V. P. Laser paintbrush as a tool for modern art / Y. Andreeva, L.Van Cuong, D. Lutoshina, D. Polyakov, D. Sinev, V. Mikhailovskii, Y. R. Kolobov, G. Odintsova // Optica. — 2021. — Vol. 8. — №. 5. — P. 577-585. — DOI: 10.1364/OPTICA.420074.

УДК 629.5.06:621.43.055
ГРНТИ 73.34.01
ВАК 2.5.20

Технико-экономическая эффективность применения адсорбционных скрубберов для очистки отработавших газов судовых двигателей

[1] Воробец И. А., [1*] Туркин В. А.

[1] Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, 353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93

email: vorobecz00@gmail.com, [*] turvla@mail.ru

Современное судоходство испытывает сильное давление из-за ужесточения международного экологического законодательства. В частности, Приложение VI к конвенции МАРПОЛ ограничивает содержание оксидов серы (SOx) в выхлопных газах судов. Сейчас в зонах контроля выбросов (ECA) содержание серы в топливе не должно превышать 0,1%, а с 2020 года действует общемировой предел в 0,5%. Из-за этого судовладельцы вынуждены искать недорогие способы, чтобы соответствовать новым стандартам. Есть три основных варианта решения: использовать топливо с низким содержанием серы (MGO), установить скрубберы или перейти на другие виды топлива, например, сжиженный природный газ (СПГ). Однако все эти варианты связаны с большими затратами. Исследования показывают, что установка скрубберов требует крупных первоначальных вложений, а использование СПГ приводит к высоким эксплуатационным расходам и затратам на переоборудование судна. Особенно сложная ситуация у судов смешанного плавания (река-море). Из-за особенностей конструкции, нехватки места для оборудования и специфических условий работы, использование обычных громоздких скрубберов может быть сложным или невозможным. Поэтому растёт интерес к альтернативным, так называемым сухим методам очистки. Для того что бы сократить расход на топливо и соответствовать стандартам судовладелец может установить скруббер адсорбционного «сухого» типа. Такое оборудование не требует так много места как скруббера «мокрого» типа и не так дорого стоит как «газификация». Рассмотрена примерная стоимость модификации на условный танкер. Предлагается установить на танкер мультиблочное устройство для очистки отработавших газов судового двигателя. В итоге мы получаем, что наш условный танкер способен ходить на одном виде топливо весь рейс, и это будет самое дешевое топливо, такое как IFO380, выполнять международные требования с установкой по отчистке отработанных газов и за тот же условный рейс потратить на топливо 73 500 долларов, вместо 158 725 долларов только за VLSFO и в особых районах использовать MGO стоимость 1285 $ за тонну, что приводит к резкому увеличению стоимости условного рейса. Следовательно, применение скруббера есть наиболее эффективным техником решением.

Technical and economic efficiency of using adsorption scrubbers for cleaning exhaust gases of marine engines

[1] Vorobets I. A., [1*] Turkin V. A.

[1] Admiral Ushakov Maritime State University, 353924, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave., 93

email: vorobecz00@gmail.com, [*] turvla@mail.ru

Modern shipping is under intense pressure due to increasingly stringent international environmental legislation. In particular, Annex VI of the MARPOL Convention limits the sulfur oxide (SOx) content in ship exhaust gases. Currently, in Emission Control Areas (ECAs), the sulfur content in fuel must not exceed 0.1%, and from 2020, a global limit of 0.5% will be in effect. Because of this, shipowners are forced to seek cost-effective ways to comply with the new standards. There are three main solutions: using low-sulfur fuel oil (LSO), installing scrubbers, or switching to other fuels, such as liquefied natural gas (LNG). However, all of these options are expensive. Research shows that installing scrubbers requires a large initial investment, while using LNG leads to high operating and conversion costs. The situation is particularly challenging for mixed-navigation (river-sea) vessels. Due to design features, limited space for equipment, and specific operating conditions, using conventional, bulky scrubbers can be difficult or impossible. Therefore, interest in alternative, so-called dry cleaning methods is growing. To reduce fuel consumption and meet standards, shipowners can install a dry adsorption scrubber. This equipment requires less space than a wet scrubber

and is less expensive than a gasification scrubber. The approximate cost of a modification for a typical tanker is discussed. It is proposed to install a multi-block unit on the tanker to clean marine engine exhaust gases. As a result, our hypothetical tanker can operate on a single fuel type for the entire voyage, using the cheapest fuel, such as IFO380. It can meet international requirements with an exhaust gas cleaning unit, and for the same hypothetical voyage, it can spend $73,500 on fuel instead of $158,725 for VLSFO alone. In special areas, it can use MGO at a cost of $1,285 per ton, which leads to a sharp increase in the cost of the hypothetical voyage. Therefore, the use of a scrubber is the most effective technical solution.

УДК 531.715.1
ГРНТИ 37.31.19
ВАК 1.3.19

Исследование радио-фотонного измерителя перемещений и вибраций.

[1]Дубров М. Н., [1*]Александров Д. В., [1]Денисюк Р. Н.

[1]Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 141190, Московская обл., г. Фрязино, пл. Введенского 1

email: dmitry@aleksandrow.ru

В работе представлены результаты экспериментального исследования интегральных характеристик видности интерференционной картины в трёхзеркальном интерферометре-дальномере [1], основанном на применении лазера, работающего в двухмодовом режиме генерации. Актуальность исследования обусловлена потребностью в прецизионных радиооптических методах измерения больших расстояний с интерференционной точностью для геофизики, астрономии, навигации и гравитационно-волновых детекторов.

Цель работы – получение зависимостей видности интерференционной картины от изменения длины резонатора лазера при различных расстояниях до внешнего отражателя, необходимых для оптимальной настройки частоты лазера в высокоточных измерителях длины и перемещений.

Методика эксперимента.Использовался промышленный He-Ne лазер ЛГ-66 (длина волны 633 нм, резонатор из двух сферических зеркал с базой 150 мм, коэффициент пропускания выходного зеркала около 1 %, мощность излучения 0,23 мВт). Лазер и подвижное плоское зеркало с алюминиевым покрытием образуют трёхзеркальный интерферометр. Расстояние до отражателя варьировалось от 8 до 30 см. Излучение со стороны плотного зеркала регистрировалось фотоприемником.

Сигнал оцифровывался аналого-цифровым преобразователем LCard E14-140M (частота 10 кГц, длительность записи 10 минут, 6 миллионов отсчётов). Для расчёта видности запись разбивалась на временные «окна»; в каждом окне находились максимум и минимум интенсивности, после чего видность вычислялась как отношение разности максимума и минимума к их сумме. Подбором ширины окна достигалось сглаживание графика от случайных выбросов. Изменение длины резонатора лазера осуществлялось за счёт его нагрева, что приводило к периодической смене одномодового и двухмодового режимов генерации.

Основные результаты. Получены зависимости видности от изменения длины резонатора. Обнаружены участки с медленным изменением видности (одномодовый режим) и участки резких минимумов (двухмодовый режим). Наиболее глубокие минимумы наблюдались при смещении отражателя на половину длины резонатора лазера (~8 см). Построены зависимости максимальных и минимальных значений видности от расстояния до отражателя: видность изменяется от 0,04 до 0,14, периодичность равна длине резонатора (16 см). Эксперимент качественно согласуется с теоретическими оценками[1, 2].

Анализ и выводы.Полученные экстремумы видности позволяют точно настраивать лазерный резонатор для интерференционных измерений длины и перемещений. Ключевой методический результат – разработанный подход к обработке сигнала: использование АЦП с частотой 10 кГц, разбиение 10-минутной записи на временные «окна» и подбор их длины для очистки графика от случайных выбросов. Это обеспечивает надёжное выделение переходов между одномодовым и двухмодовым режимами генерации. Предложенная методика применима в прецизионных лазерных дальномерах, деформографах и орбитальных измерительных системах. Экспериментально подтверждено, что при оптимальной настройке резонатора трёхзеркальный интерферометр в двухмодовом режиме обеспечивает высокую точность измерений на больших расстояниях.

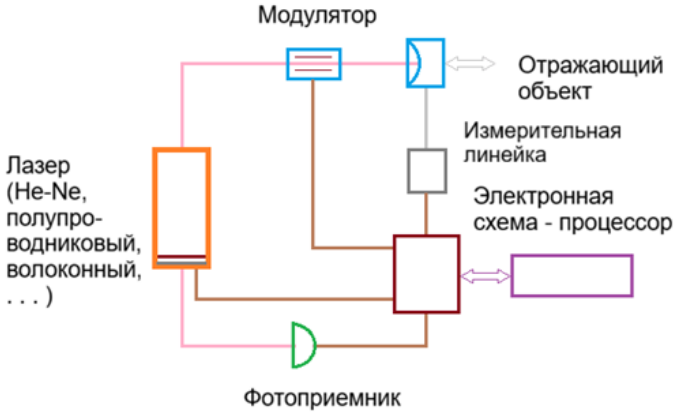


Рис. 1 Блок-схема установки для исследованиярадио-фотонного измерителя перемещений и вибраций.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ РАН.

Список литературы

1. Булатов И.С., Коробов Н.А., Александров Д.В., Дубров М.Н. Исследование характеристик видности интерференционной картины в трехзеркальном лазерном интерферометре-дальномере. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2022. №5. https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.5.1

2. Минин Ю. Б., Крупник Е. С., Дубров М. Н. Прецизионный лазерно-интерферометрический измеритель расстояний и перемещений. Известиявузов. Приборостроение. 2018. Т.61. №10. С.892-896. https://doi.org/10.17586/0021-3454-2018-61-10-892-896

Research on a Radio-Photonic Displacement and Vibration Meter

M. N. Dubrov[1], D. V. Aleksandrov[1]*, R. N. Denisyuk[1]

[1]Fryazino Branch of the Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences, 1 Vvedenskogo Sq., Fryazino, Moscow Region, 141190, Russia

Email: dmitry@aleksandrow.ru

This paper presents the results of an experimental study of the integral characteristics of interference pattern visibility in a three-mirror interferometer-rangefinder [1], based on the use of a laser operating in a two-mode lasing regime. The relevance of this study is driven by the demand for precision radio-optical methods for measuring large distances with interferometric accuracy in geophysics, astronomy, navigation, and gravitational-wave detectors.

The aim of the work is to obtain the dependences of the interference pattern visibility on changes in the laser cavity length at various distances to the external reflector, which are necessary for the optimal tuning of the laser frequency in high-precision length and displacement meters.

Experimental methodology. A commercial LG-66 He–Ne laser was used (wavelength 633 nm, cavity consisting of two spherical mirrors with a 150 mm base, output mirror transmittance of about 1%, output power of 0.23 mW). The laser and a movable plane mirror with an aluminum coating form a three-mirror interferometer. The distance to the reflector was varied from 8 to 30 cm. The radiation from the side of the rear (high-reflectivity) mirror was recorded by a photodetector.

The signal was digitized using an LCard E14-140M analog-to-digital converter (sampling rate 10 kHz, recording duration 10 minutes, 6 million samples). To calculate the visibility, the recording was divided into time "windows"; in each window, the maximum and minimum intensity values were found, after which the visibility was calculated as the ratio of the difference between the maximum and minimum to their sum. Smoothing of the graph against random outliers was achieved by selecting the appropriate

window width. The change in the laser cavity length was accomplished by heating the laser, which led to a periodic alternation between single-mode and two-mode lasing regimes.

Main results. The dependences of visibility on the change in cavity length were obtained. Regions with a slow change in visibility (single-mode regime) and regions of sharp minima (two-mode regime) were detected. The deepest minima were observed when the reflector was displaced by half the laser cavity length (~8 cm). Dependences of the maximum and minimum visibility values on the distance to the reflector were plotted: the visibility varies from 0.04 to 0.14, with a periodicity equal to the cavity length (16 cm). The experiment qualitatively agrees with theoretical estimates [1, 2].

Analysis and conclusions. The obtained visibility extrema make it possible to precisely tune the laser cavity for interferometric measurements of length and displacement. A key methodological result is the developed signal processing approach: the use of an ADC with a sampling rate of 10 kHz, dividing the 10-minute recording into time "windows," and adjusting their length to eliminate random outliers from the graph. This ensures reliable identification of transitions between single-mode and two-mode lasing regimes. The proposed technique is applicable in precision laser rangefinders, deformographs, and orbital measurement systems. It has been experimentally confirmed that, with optimal cavity tuning, the three-mirror interferometer in the two-mode regime provides high measurement accuracy over long distances.

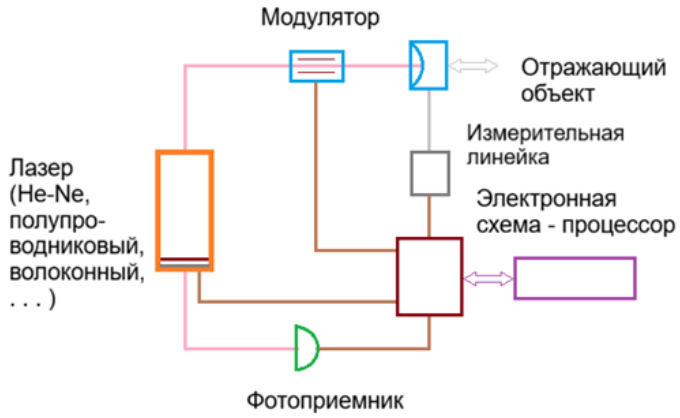


Fig. 1. Block diagram of the experimental setup for studying the radio-photonic displacement and vibration meter.

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment of the IRE RAS.

References

1. S., Korobov N. A., Aleksandrov D. V., Dubrov M. N. Investigation of the visibility characteristics of the interference pattern in a three-mirror laser interferometer-rangefinder. Journal of Radio Electronics [online journal]. 2022. No. 5. https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.5.1

2. Minin Yu. B., Krupnik E. S., Dubrov M. N. Precision laser-interferometric meter of distances and displacements. IzvestiyaVysshikhUchebnykhZavedeniy. Priborostroenie (Proceedings of Higher Educational Institutions. InstrumentEngineering). 2018. Vol. 61. No. 10. pp. 892-896. https://doi.org/10.17586/0021-3454-2018-61-10-892-896

УДК 535.621(075.8)
ГРНТИ 29.31.29
ВАК 1.3.19

Зондирование молекул климатически активных газов лидаром комбинационного рассеяния света

[1]Дьяченко В. В., [2]Девисилов В. А., [3]Привалов В. Е., [4] Неустроев З. А., [4]Туркин В.А., [4]Шеманин В. Г.

*[1]НПИ (филиал) КубГТУ, Новороссийск, Россия, e-mail: * v-v-d@mail.ru*

[2] МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

[3] СПб ПУ Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

[4] Государственный морской университет им. Адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия

Распоряжение Правительства России с перечнем климатически активных газов (КАГ) и пересчётом их вклада в парниковый эффект через условные углеродные единицы показало оценить степень влияния каждой молекулы КАГ на окружающую среду. Этот перечень КАГ, подлежащих учету в выбросах предприятий и ведению кадастра парниковых газов, содержит 33 наименования. Среди них как газы – макрокомпоненты атмосферы, давно признанные в качестве парниковых – CH_4, CO_2, N_2O, NF_3, а также более двух десятков экзотических газов под общим названием гидрофторуглероды и перфторуглероды [1].

В работе рассмотрена возможность мониторинга самых распространенных КАГ с наибольшим парниковым эффектом [1]. Так как требуется определять очень низкие концентрации молекул КАГ порядка предельно- допустимых было выполнено компьютерное моделирование лидарного уравнения для комбинационного рассеяния света (КРС) молекулами КАГ в режиме счета фотонов. Такое лидарное уравнение для КРС газовыми молекулами в атмосфере с учетом конечной ширины линии генерации было предложено в [2]. Его решение позволит оценить возможность измерений лидаром КРС концентраций исследуемых молекул в атмосфере на заданном уровне и на расстояниях зондирования до 100 м в режиме синхронного счета фотонов для выбора оптимальных параметров такого лидара.

Основные параметры исследуемых молекул КАГ, дающие основной вклад в карбоновый цикл, с учётом их содержания в атмосфере приведены в [3]. Оптическая схема лидара КРС построена, как и в [2]. В качестве зондирующего – используется излучение третьей и второй гармоники YAG: Nd лазера с накачкой полупроводниковым лазером с длинами волн 355 и 532 нм и полупроводникового лазера с длиной волны 450 нм с длительностью импульсов 10 нс и энергиями в импульсе до 1 мДж при частоте следования лазерных импульсов f до 100 кГц [2] Наименьшее время измерения было получено по результатам моделирования для молекул CH_4 и CO_2, а для молекулы метана время измерения минимально и увеличивается с 0,77 мкс на расстоянии 10 м до 80 мкс - на расстоянии 100 м. Таким образом, выбор оптимальных параметров лазера и рамановского лидара КРС для одновременного зондирования в атмосфере всех рассматриваемых молекул КАГ позволит определять их на расстоянии до 100 м, но диапазон времени измерения будет очень широким – от 0,77 мкс до 1009 с.

Таким оброзом, компьютерное моделирование показало возможности применения лидара КРС в режиме счета фотонов для дистанционного измерения уровней концентраций основных КАГ на уровне из этого

Список литературы

1. Дьяченко В. В., Девисилов В. А., Шеманин В. Г. Лидарная технология измерения климатически активных газов для карбоновых полигонов // Экология и промышленность России, 2023 Т. 27 № 6 С. 30–35. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-6-30-35

2. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Лидарное уравнение с учетом конечной ширины линии генерации лазера // Известия РАН. Серия Физическая. 2015. Т. 79. № 2. С. 170-180.

3. Дьяченко В. В., Шеманин В. Г. Лидарный мониторинг парниковых газов в атмосфере // Лазеры. Измерения. Информация. 2022. Т. 2. No 04 (08), С. 015-029. Извлечено от https://lasers-measurement-information.ru /ojs /index.php/laser/article/view/48 doi: 10.51639/2713-0568_2022_2_3_34 С.15-29

UDC 535.621(075.8)
GRNTI 29.31.29
HAC 1.3.19

Raman lidar remote sensing of climatically active gases molecules

[1]Dyachenko V.V., [2]Devisilov V.A., [3]Privalov V.E., [4]Neustroev Z.A., [4]Turkin V.A., [4]Shemanin V.G.

*[1]Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) KubSTU, Novorossiysk, Russia, e-mail: * v-v-d@mail.ru*
[2]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
[3]Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia
[4]Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, Russia

The decree of the Russian Government with a list of climatically active gases (CAG) and a recalculation of their contribution to the greenhouse effect in terms of conventional carbon units allowed us to assess the degree of influence of each CAG molecule on the environment. This list of CAG gases are accounted for in the emissions of enterprises and the maintenance of a greenhouse gas inventory contains 33 ones. The gases are among them - macro components of the atmosphere, which have long been recognized as greenhouse gases – CH_4, CO_2, N_2O, NF_3, as well as more than two dozen exotic gases under the general name hydrofluorocarbons and perfluorocarbons [1]. The paper considers the possibility of monitoring the most common CAG with the greatest greenhouse effect [1]. Since it is required to determine very low concentrations of CAG molecules of the order of the maximum allowable one, a computer simulation of the Raman lidar equation by CAG molecules in the photon counting mode was fulfilled. Such a Raman lidar equation by gas molecules in the atmosphere was proposed in [2] taking into account the finite width of the lasing line. Its solution will make it possible to evaluate the possibility of measuring the concentrations of the studied molecules in the atmosphere with Raman lidar at a given level and at ranging distances up to 100 m in the synchronous photon counting mode to select the optimal parameters of such a lidar. The main parameters of the studied CAG molecules which make the main contribution to the carbon cycle and taking into account their content in the atmosphere are given in [3]. The optical scheme of the Raman lidar is constructed as in [2]. The radiation of the third and second harmonics of the YAG: Nd laser pumped with a semiconductor laser with 355 and 532 nm wavelengths and a semiconductor laser with 450 nm wavelength with a pulse duration of 10 ns and pulse energies of up to 1 mJ at a laser pulses repetition rate *f* up to 100 kHz is used as probing [2] The shortest measurement time due to simulation results were obtained for CH_4 and CO_2 molecules, and the measurement time for the methane molecule is minimal and increases from 0.77 μs at a distance of 10 m to 80 μs at a distance of 100 m. Thus, the choice of optimal laser and Raman lidar parameters for simultaneous atmospheric sensing of all CAG molecules under consideration will allow them to be determined at a distance of up to 100 m, but the measurement time range will be very wide – from 0.77 μs to 1009 s. Thus, computer simulation has shown the possibility of using the Raman lidar in photon counting mode for remote measurement of concentrations of basic CAG as in [3].

References

1. Dyachenko V.V., Devisilov V.A., Shemanin V.G. Lidar technology for measuring climatically active gases for carbon landfills // Ecology and Industry of Russia, 2023, V. 27. No. 6. P. 30-35. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-6-30-35

2. Privalov V.E., Shemanin V.G. Lidar equation taking into account the finite width of the laser generation line //Izvestiya RAS. Ser. Physics. 2015. V. 79. No. 2. P. 170-180.

3. Dyachenko V.V., Shemanin V.G. Lidar monitoring of greenhouse gases in the atmosphere // Lasers. Measurements. Information. 2022. V. 2. No. 04 (08), P. 015-029. Extracted from https://lasers-measurement-information.ru /ojs /index.php/laser/article/view/48 doi: 10.51639/2713-0568_2022_2_3_34 pp.15-29

УДК 504.6
ГРНТИ 87.17
ВАК 1.6.18

Результаты лазерного экологического мониторинга аэрозолей в воздухе Новороссийской агломерации

Дьяченко В.В.*, Куля Д.Н.

*НПИ (филиал) КубГТУ, Новороссийск, Россия, e-mail: * v-v-d@mail.ru*

Негативное влияние аэрозолей на здоровье обосновано многими исследованиями и статистическими данными по всему земному шару и, конечно, югу РФ [1-3]. Это обусловлено не просто негативным влиянием инертных частиц пыли, а тем, что они являются аккумуляторами многих веществ и, в том числе, токсичных тяжелых металлов [4]. Благодаря деятельности нескольких цементных заводов и транспортному потоку одним из таких экологически неблагополучных городов РФ с точки зрения аэрозольного загрязнения является Новороссийская агломерация. В связи с этим, на протяжении нескольких лет в Новороссийске, силами общественников развивается сеть лазерных датчиков, позволяющих круглосуточно контролировать содержание в атмосфере аэрозолей фракций PM10 и PM2,5 [5, 6]. Благодаря этому накоплен большой фактический материал, анализ которого позволяет сделать несколько очень важных выводов.

1. Применение лазерных систем в экологическом мониторинге позволяет контролировать загрязнение воздуха круглосуточно и практически непрерывно, при этом мониторинг ведется в автоматизированном режиме, с минимальными затратами и практически без вмешательства человека.

2. Круглосуточный мониторинг позволяет оперировать в оценке состояния атмосферы не максимально разовыми, а среднесуточными и даже среднегодовыми ПДК, которые существенно ниже. Это очень важно для оценки степени загрязненности воздуха жилой зоны, поскольку здесь население подвергается негативному воздействию загрязнения в течение большей части суток и года, а поэтому, оценивать состояние воздуха по максимально разовым ПДК, как это делают природоохранные органы, экономя время на замерах, не просто неправильно, а преступно по отношению к здоровью людей. Ведь ориентируясь на них можно сделать вывод, что все замечательно, загрязнения воздуха практически нет.

3. Дифференцированная оценка территории города и источников загрязнения воздуха пылью свидетельствует о благополучной в целом ситуации с контролем негативного влияния на окружающую среду цемзаводов и критической важности мониторинга транспортного загрязнения (преимущественно грузовых дизельных машин), формирующих большое количество взвешенных частиц.

4. Но самое важное – это контроль состояния полигона ТКО и предупреждение его возгораний, которые рождают масштабное, катастрофическое загрязнение окружающей среды токсичными продуктами горения. В связи с этим представляется странным и коммерчески обусловленным, тушение пожаров на свалке песком, привезенным с анапских пляжей в результате ликвидации известной ЧС. Мало того, что сухой песок хорошо воздухопроницаем, легко скатывается с крутых склонов свалки и не годится для этого, так он еще и может быть насыщен горючими веществами, которые не способствуют тушению огня.

5. К сожалению, формирование повышенных концентраций, потенциально токсичных взвешенных частиц в атмосфере возможно даже при отсутствии ярко выраженного техногенного загрязнения, в результате интегрального взаимодействия метеорологических, гидрологических, геоморфологических и градостроительных особенностей, а также низкого уровня озеленения и благоустройства, что необходимо учитывать при оценке состояния окружающей среды и проектировании населенных пунктов. Особо следует отметить положительное влияние влажности воздуха и близости водного объекта. Кроме того, один и тот же фактор, например ветер, в зависимости от рельефа, силы и направления может как уменьшать концентрацию взвешенных частиц в атмосфере (п. Верхнебаканский, набережная Новороссийска), так и увеличивать (п. Мысхако) ее в конкретной точке.

В связи с этим, для получения объективных данных о процессах формирования аэрального загрязнения, своевременного предупреждения масштабного переноса ЗВ, а также создания моделей

массопереноса в атмосфере и идентификации аэрозолей различного происхождения, необходимо более широкое распространение инициативы жителей города в рамках проекта «За чистый Новороссийск» по размещению лазерных датчиков загрязнения воздуха, расширения спектра контролируемых ими параметров и исследование атмосферы населенных пунктов методами лазерного зондирования [5]. Следует отметить, что это практически ничего не стоит городу, поскольку заинтересованные граждане сами готовы покупать эти датчики (цена до 10,0 т.р.), лишь бы был толк. От властей требуется лишь поддержка народной инициативы и принятие соответствующих природоохранных мер.

Результаты мониторинга еще раз подчеркивают важность влажной уборки городских дорог для подавления аэрозольного загрязнения окружающей среды. Другим фактором очищения атмосферы является озеленение города. Это положение хорошо иллюстрируется результатами научной работы студентов Новороссийского политехнического института КубГТУ [7]. Высаживание деревьев и кустарников во дворах и парках, а особенно вдоль автодорог приводит как к уменьшению дальности распространения загрязнения, так и резкому снижению концентраций загрязняющих веществ в воздухе в районе.

Список литературы

1. Малыхин Ю.А., Малыхина А.Г., Дьяченко В.В. Медико-экологические исследования урбанизированных территорий // Безопасность в техносфере, Москва, 2008, № 3. С. 16-21.

2. V. Dyachenko, Y. Malykhin and L. Dyachenko The Problems of the North Caucasus Landscape's Pollution and Population's Health // Journal of Environmental Protection, Vol. 5 No. 2, 2014, pp. 81-86.

3. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Малыхин Ю.А., Матасова И.Ю., Шеманин В.Г. Результаты деятельности комиссии по геохимии ландшафта и техносферной безопасности КРОРГО // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества / ИП Платонов Игорь. Выпуск 9. – Краснодар: ИП Платонов, 2017. – С. 214-225.

4. Дьяченко В.В., Шеманин В.Г., Вишневецкая В.В. Влияние техногенеза и геохимии аэрозолей на состояние окружающей среды и здоровье населения Юга России // География и природные ресурсы. – 2023. – Т. 44, № 4. – С. 46-58.

5. Сайт «За чистый Новороссийск»: https://vk.com/zachin23 (дата обращения: 19.06.2026).

6. Дьяченко В.В., Куля Д.Н. Результаты экологического мониторинга загрязнения воздуха лазерными методами в условиях градостроительных и природных особенностей Новороссийской агломерации // Экологические системы и приборы. – 2026. – № 4. – С. 3-15. – DOI 10.25791/esip.4.2026.1584.

7. Управление городской средой: социально-экономические и экологические аспекты (на примере Новороссийска): монография / В.В. Дьяченко [и др.]. - Краснодар: Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2021.-247 с.

Results of laser environmental monitoring of aerosols in the air of the Novorossiysk agglomeration

Dyachenko V.V.*, Kulya D.N.

*NPI (branch) of KubSTU, Novorossiysk, Russia, e-mail: * v-v-d@mail.ru*

The negative impact of aerosols on health has been substantiated by numerous studies and statistics from around the globe, including in the southern part of the Russian Federation [1-3]. This is due not only to the negative impact of inert dust particles, but also to the fact that they act as accumulators of many substances, including toxic heavy metals [4]. Due to the operation of several cement plants and heavy traffic, the Novorossiysk agglomeration is one of the most environmentally unfavorable cities in the Russian Federation in terms of aerosol pollution. Therefore, over the past several years, community activists have been developing a network of laser sensors in Novorossiysk, enabling 24-hour monitoring of PM10 and PM2.5 aerosols in the atmosphere [5, 6]. This has allowed for the accumulation of a wealth of factual data, the analysis of which allows for several very important conclusions.

1. The use of laser systems in environmental monitoring enables 24/7, virtually continuous air pollution monitoring, while monitoring is automated, cost-effective, and virtually free of human intervention.

2. Noctidial monitoring allows for assessment of atmospheric conditions based not on maximum one-time values, but on average daily and even average annual MACs, which are significantly lower. This is crucial for assessing the level of air pollution in residential areas, as residents are exposed to the negative impacts of pollution for most of the day and year. Therefore, assessing air quality based on maximum one-time MACs, as environmental authorities do to save time on measurements, is not only incorrect but also harmful to human health. After all, relying on these values alone might lead to the conclusion that everything is fine, with virtually no air pollution.

3. A differentiated assessment of the city's territory and sources of dust air pollution demonstrates the overall favorable situation with monitoring the negative environmental impact of cement plants and the critical importance of monitoring transport pollution (primarily diesel trucks), which generate large amounts of suspended particles.

4. But the most important thing is monitoring the condition of the solid waste landfill and preventing fires, which cause large-scale, catastrophic environmental pollution with toxic combustion products. Therefore, extinguishing landfill fires with sand brought from Anapa beaches following a known emergency seems strange and commercially motivated. Not only is dry sand highly breathable and easily slides down the steep slopes of the landfill, making it unsuitable for this purpose, but it can also be saturated with flammable substances, which are not effective in extinguishing fires.

5. Unfortunately, elevated concentrations of potentially toxic particulate matter in the atmosphere are possible even in the absence of pronounced man-made pollution, as a result of the integrated interaction of meteorological, hydrological, geomorphological, and urban planning factors, as well as poor landscaping and amenities. This must be taken into account when assessing the state of the environment and planning settlements. The positive impact of high air humidity and the proximity of a body of water is particularly noteworthy. Furthermore, the same factor, such as wind, depending on the topography, strength, and direction, can either decrease the concentration of suspended particles in the atmosphere (Verkhnebakansky village, Novorossiysk embankment) or increase it (Myskhako village) at a specific point.

Therefore, to obtain objective data on the processes of aerial pollution formation, promptly prevent large-scale transfer of pollutants, as well as create models of atmospheric mass transfer and identify aerosols of various origins, it is necessary to more widely disseminate the initiative of city residents within the framework of the "For a Clean Novorossiysk" project to deploy laser air pollution sensors, expand the range of parameters they monitor, and study the atmosphere of populated areas using laser sensing methods [5]. It should be noted that this costs the city virtually nothing, since interested citizens are willing to purchase these sensors themselves (price up to 10,000 rubles), as long as they are effective. The authorities are only required to support the public initiative and adopt appropriate environmental measures.

The monitoring results once again highlight the importance of wet cleaning of city roads to suppress aerosol pollution. Another factor in air purification is urban greening. This is well illustrated by the results of research by students from the Novorossiysk Polytechnic Institute (KubSTU) [7]. Planting trees and shrubs in courtyards and parks, and especially along highways, leads to both a reduction in the range of pollution and a sharp reduction in air pollutant concentrations in the area.

References

1. Malykhin Yu.A., Malykhina A.G., Dyachenko V.V. Medical and ecological studies of urbanized territories // Safety in the technosphere, Moscow, 2008, No. 3. Pp. 16-21.

2. V. Dyachenko, Y. Malykhin and L. Dyachenko The Problems of the North Caucasus Landscape’s Pollution and Population’s Health // Journal of Environmental Protection, Vol. 5 No. 2, 2014, pp. 81-86.

3. Dyachenko V.V., Dyachenko L.G., Malykhin Yu.A., Matasova I.Yu., Shemanin V.G. Results of the activities of the commission on landscape geochemistry and technosphere safety of the KROGRO // Bulletin of the Krasnodar regional branch of the Russian Geographical Society / IP Platonov Igor. Issue 9. – Krasnodar: IP Platonov, 2017. – Pp. 214-225.

4. Dyachenko V.V., Shemanin V.G., Vishnevetskaya V.V. The Impact of Technogenesis and Aerosol Geochemistry on the State of the Environment and Health of the Population of Southern Russia // Geography and Natural Resources. – 2023. – Vol. 44, No. 4. – Pp. 46-58.

5. Website "For a Clean Novorossiysk": https://vk.com/zachin23 (date of access: 19.06.2026).

6. Dyachenko V.V., Kulya D.N. Results of Environmental Monitoring of Air Pollution by Laser Methods in the Context of Urban Planning and Natural Features of the Novorossiysk Agglomeration // Ecological Systems and Devices. – 2026. – No. 4. – Pp. 3-15. – DOI 10.25791/esip.4.2026.1584.

7. Urban environment management: socio-economic and environmental aspects (using Novorossiysk as an example): monograph / V.V. Dyachenko [et al.]. - Krasnodar: Publ. FGBOU VO "KubSTU", 2021.-247 p.

УДК 535.372
ГРНТИ 29.31.23
ВАК 1.3.8

Исследование фотолюминесценции оптических материалов на основе системы $AgBr_{0,8}I_{0,2}$ - TlI

[1*] Ермаков Е. А., [1] Караванский Н. А., [1] Пестерева П. В., [1] Жукова Л. В.

[1] Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, 620062, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
email: [*]e.a.ermakov@urfu.ru, nikita.karavansky@urfu, p.v.pestereva@urfu.ru, l.v.zhukova@urfu.ru

Исследование люминесцентных свойств новых оптических галогенидсеребряных материалов с активирующими добавками открывает возможности инновационных применений в современной технике для создания будущего поколения волоконной оптики и приборов. Ключевыми преимуществами твёрдых растворов замещения на основе галогенидов серебра и таллия являются прозрачность в видимом и ИК-диапазонах от 0,5 до 60 мкм без окон поглощения, негигроскопичность и радиационная стойкость, благодаря тяжелым по молекулярной массе ионам I^- и Tl^+.

Существует серия исследований на предмет люминесценции галогенидов серебра, где эти соединения проявляют эмиссию в видимом и ближнем ИК диапазоне. В связи с этим аналогичные свойства могут проявляться и в новых оптических материалах на основе системы $AgBr_{0.8}I_{0.2}$ – TlI. Регистрация спектров фотолюминесценции системы материалов $AgBr_{0.8}I_{0.2}$ – TlI представляет высокую научную ценность и предлагает возможность использования этих материалов в широком спектральном диапазоне.

С этой целью была изготовлена серия пластинок из выращенных по методу Бриджмена монокристаллических образцов 5, 20, 40, 85 и 97 мас. % TlI в $AgBr_{0.8}I_{0.2}$ толщиной порядка 500 мкм. Регистрация спектров фотолюминесценции проводилось на люминесцентном спектрометре Perkin Elmer ls55 в диапазоне от 300 до 900 нм при возбуждении на длине волны 242 нм со следующими параметрами: режим флуоресценции, ширина щелей монохроматоров 10 нм, сканы – 20 шт., 1 цикл сканирования, скорость сканирования 20 нм/мин, время интегрирования 1000 мс, шаг 1 нм, без режима коррекции, стандартное усиление ФЭУ.

На полученной картине спектра фотолюминесценции для всех составов наблюдаются общие пики эмиссии на длинах волн 350, 418, 478, 526 и 820 нм. Из спектров возбуждения следует, что все они имеют общие полосы возбуждения: 242, 261, 277 нм. При этом наиболее эффективно свечение возбуждается при 242 нм, однако люминесценция в ИК-области (820, 846, 860, 890 нм) имеет свои эффективные полосы возбуждения: 693, 726, 753 нм.

Наиболее вероятно это явление связано с общими центрами окраски, в частности, собственными центрами, поскольку природа получаемых материалов на основе твёрдых растворов замещения подразумевает искажение решетки и образование её дефектов. Кроме того, это объясняется наличием примесных центров, которые существуют ввиду внесения активирующей добавки йодида таллия. Можно также предположить образование парных йодных центров и центров таллий-вакансия-йод, способных к люминесценции. Они могут возникать в процессе отжига монокристаллических образцов, когда ввиду повышенной температуры (100-200 °C) возникает диффузия ионов таллия, увлекающих за собой вакансии серебра или диффузия ионов йода, стремящихся к положительно заряженным облакам вокруг ионов таллия. Такие центры способны к рекомбинационной люминесценции.

Примечательно, что интенсивность свечения образцов возрастает в ряду 85→40→97→5→20 мас. % TlI в $AgBr_{0.8}I_{0.2}$. Такая закономерность связана, главным образом, с концентрацией излучающих центров, поскольку интенсивность прямо пропорциональна количеству светящихся дефектов, однако только до тех пор, пока не наступает эффект концентрации тушения [1]. Также вклад вносит оптическая плотность и потери на границах раздела, как это явно наблюдается в случае образца 85 мас. % TlI в $AgBr_{0.8}I_{0.2}$, который ввиду высокого содержания фазы R-3 растрескивается с образованием границ раздела, и, в целом, имеет самое низкое оптическое пропускание в данном ряду. И напротив, благодаря удачному соотношению и количеству фаз, а также ввиду низкой оптической плотности, максимальная светимость присуща образцу 20 мас. % TlI в $AgBr_{0.8}I_{0.2}$

Таким образом, установленные спектры эмиссии говорят о сложной энергетической структуре образцов. Для её подробного объяснения требуется определение ширины запрещенной зоны и точное исследование механизма люминесценции и, кроме того, изучение взаимосвязи полос свечения на предмет их принадлежности одним центрам окраски.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема № FEUZ-2026-0008).

Список литературы

1. Ахмадуллина, Н. С. Оксинитриды алюминия, легированные ионами редкоземельных и переходных металлов / Н. С. Ахмадуллина, А. В. Ищенко // Тонкие химические технологии. – 2025. – Т. 20, № 4. – С. 324-343. – DOI 10.32362/2410-6593-2025-20-4-324-343. – EDN KEDCJH.

Investigation of photoluminescence of optical materials based on the system $AgBr_{0,8}I_{0,2}$ - TlI

[1*] Ermakov E. A., [1] Karavanskii N. A., [1] Pestereva P. V., [1] Zhukova L. V.

[1] Ural federal university named after B. N. Yeltsin, 620062, Russia, Yekaterinburg, Mira st. 19
email: [*] e.a.ermakov@urfu.ru, nikita.karavansky@urfu, p.v.pestereva@urfu.ru, l.v.zhukova@urfu.ru

The study of the luminescent properties of new optical silver halide materials with activating additives opens up the possibilities of innovative applications in modern technology to create a future generation of fiber optics and devices. The key advantages of solid substitution solutions based on silver and thallium halides are transparency in the visible and IR ranges from 0.5 to 60 microns without absorption windows, non-hygroscopicity and radiation resistance due to the heavy molecular weight of I- and Tl+ ions.

There is a series of studies on the luminescence of silver halides, where these compounds exhibit emission in the visible and near-infrared range. In this regard, similar properties can be manifested in new optical materials based on the $AgBr_{0,8}I_{0,2}$ –TlI system. The registration of photoluminescence spectra of the $AgBr_{0,8}I_{0,2}$ – TlI material system is of high scientific value and offers the possibility of using these materials in a wide spectral range.

For this purpose, a series of plates were made from single crystal samples grown using the Bridgman method of 5, 20, 40, 85 and 97 wt. % TlI in $AgBr_{0,8}I_{0,2}$ is about 500 microns thick. Photoluminescence spectra were recorded on a Perkin Elmer ls55 luminescent spectrometer in the range from 300 to 900 nm when excited at a wavelength of 242 nm with the following parameters: fluorescence mode, slit width of monochromators 10 nm, scans - 20 pcs., 1 scan cycle, scanning speed 20 nm/min, integration time 1000 ms, step 1 nm, without correction mode, standard photoelectric multiplier gain.

The resulting photoluminescence spectrum shows common emission peaks for all compositions at wavelengths of 350, 418, 478, 526, and 820 nm. It follows from the excitation spectra that they all have common excitation bands: 242, 261, 277 nm. In this case, the glow is most effectively excited at 242 nm, however, luminescence in the IR region (820, 846, 860, 890 nm) has its own effective excitation bands: 693, 726, 753 nm.

This phenomenon is most likely related to common color centers, in particular, intrinsic centers, since the nature of the materials obtained based on solid substitution solutions implies distortion of the lattice and the formation of its defects. In addition, this is due to the presence of impurity centers, which exist due to the introduction of an activating additive of thallium iodide. It is also possible to assume the formation of paired iodine centers and thallium-vacancy-iodine centers capable of luminescence. They can occur during the annealing of monocrystalline samples, when, due to elevated temperatures (100-200 °C), thallium ions diffuse, dragging silver vacancies with them, or iodine ions diffuse, tending to positively charged clouds around thallium ions. Such centers are capable of recombination luminescence.

It is noteworthy that the luminescence intensity of the samples increases in the range 85→40→97→5→20 wt. % TlI in $AgBr_{0,8}I_{0,2}$. This pattern is mainly related to the concentration of radiating centers, since the intensity is directly proportional to the number of luminous defects, but only until the effect of quenching concentration occurs [1]. Optical density and losses at the interfaces also contribute, as is clearly observed in the case of an 85 wt sample. % TlI in $AgBr_{0,8}I_{0,2}$, which, due to the high content of the R-3 phase, cracks to form interfaces, and, in general, has the lowest optical transmission in this series. Conversely, due to the successful ratio and number of phases, as well as due to the low optical density, the maximum luminosity is inherent in the sample.

20 wt. %TlI in $AgBr_{0,8}I_{0,2}$.

Thus, the established emission spectra indicate a complex energy structure of the samples. Its detailed explanation requires the determination of the band gap and an accurate study of the luminescence mechanism and, in addition, the study of the relationship of the luminescence bands for their belonging to one color center.

This work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme № FEUZ-2026-0008).

References

1. Akhmadullina, N. S. Aluminum oxynitrides alloyed with ions of rare earth and transition metals / N. S. Akhmadullina, A.V. Ishchenko // Fine chemical technologies. – 2025. – Vol. 20, No. 4. – pp. 324-343. – DOI 10.32362/2410-6593-2025-20-4-324-343. – EDN KEDCJH..

УДК 517.443, 519.2:004, 531.36
ГРНТИ 30.19.21 (см. https://www.elibrary.ru/rubrics.asp)
ВАК 1.3.19 (см. новую номенклатуру ВАК)

Определение пиков электронной плотности состояний $P_4 – Se_3$

Ермаков Л.К

[1] Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет Петра Великого я, 195251 РФ Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29

email: ermakov-lk@mail.ru

Данное соединение может применяться в различных оптоволоконных системах. Разработка приборов на основе этого соединения невозможно без изучения его плотности электронных состояний. Молекула $P_4 – Se_3$ это сложная двухслойная пирамида [1], нижний слой которой это правильный треугольник из атомов фосфора, над ним слой из трех атомов селена, а они уже замыкаются на верхний атом фосфора. Таким образом симметрия молекулы есть C_{3v} . Очевидно, что молекула замкнута, а связи с другими молекулами осуществляется за счет сил Ван-дер-Ваальса. Исходя из симметрии молекулы, гамильтониан в базисе s и p атомных орбиталей (АО) разделяется на три блока, которые соответствуют неприводимым представлениям (НП) A_1 , A_2 и E . Гамильтониан, используемый в работе строился в базисе ЛКАО. В нем наиболее просто вычислять матричные элементы в приближении Вольфсберга-Гельмгольца, в котором диагональные элементы это потенциалы ионизации атомов, а недиагональные элемиенты есть полусумма диагональных умноженных на интеграл перекрывания. В данной работе использовались АО Слейтеровского типа [2] . Исходя из симметризации описанной выше в принципе можно пострить зону Бриллюэна, из которой получить плотность состояний. Однако есть более простой способ – метод разложения гамильтониана в непрерывную дробь (НД) [3] . Хорошо известно, что плотность состояний есть мнимая часть функции Грина, умноженная на коэффициент ($-1/\pi$) . Так как гамильтониан построен в базисе ЛКАО , а непрерывная дробь разворачивается с конкретной симметризованной орбитали (СО), то мы получаем фактически локальную плотность состояний (ЛПС) на одинаковых вследствие симметрии атомных местах. Сравнение со спектром фотоионизации [1 , Fig.4] показывает удовлетворительное соответствие расчета в диапазоне 8.92 – 12.6 эВ. Это соответствует ЛПС от СО для неприводимого представления (НП) E типа точечной группы C_{3v} . Данная СО формируется из p-АО селена « π » типа ориентации (поперёк связей P - Se)

Список литературы

1. Cannigton P.H., Whitfield H.J., J. of Electron Spectroscopy ,10,(1977), 35-44.
2. Clementi E. , Raimondi D.L., J. Chem. Physics., 1963, v.38, pp. 2686-2689.
3. Solid State Physics, v.35 (1980), Acad. Press, N.Y.

Determination of electron density of states peaks $P_4 – Se_3$

Ermakov L.K.

Saint Petersburg State Polytechnic University , 195251, Russian Federation, Saint-Petersburg, Polytechnic st. 29

email: ermakov-lk@mail.ru

This connection can be used in various fiber optic systems. The development of devices based on this compound is impossible without studying its density of electronic states. The molecule P_4 — Se_3 is a complex two-layer pyramid [1], the lower layer of which is a regular triangle of phosphorus atoms, above it a layer of three selenium atoms, and they are already closed on the upper phosphorus atom. So the symmetry of the molecule is C_{3v} . It is obvious that the molecule is closed, and communication with other molecules is carried out at the expense of the forces of van der Waals. Based on the symmetry of the molecule, the Hamiltonian in the basis s and p of atomic orbitals (AO) is divided into three blocks, which correspond to irreducible representations (IR) A_1, A_2 and E .The Hamiltonian used in the work was built at the base of the LCAO. It is easiest to calculate the matrix elements in the Wolfsberg-Helmholtz approximation, in which the diagonal elements are the ionization potentials of the atoms, and the non-diagonal elements are the half-sum of the diagonal multiplied by the overlapping integrals. In this work,

Slater-type AO were used [2] .Based on the symmetry described above, in principle, it is possible to plot the Brillouin zone, from which to obtain the density of states. However, there is an easier way — the method of decomposition of Hamiltonian into a continuous fraction (CF) [3] .It is well known that the density of states is the imaginary part of the Green function multiplied by the coefficient (-1/ π) .Since the Hamiltonian is built in the base of the LKAO, and the continuous fraction unfolds from a specific symmetrized orbital (SO), we get actually the local density of states (LDS) at the same atomic places due to symmetry. Comparison with the photoionization spectrum [1 , Fig.4] shows satisfactory conformity of calculation in the range 8.92 – 12.6 eV. This corresponds to the LDS of SO for irreducible representation (IR) E type of point group C_{3v} . This SO is formed from the p-AO selenium "π" type orientation (across the bonds P - Se)

References

1. Cannigton P.H., Whitfield H.J., J. of Electron Spectroscopy ,10,(1977), 35-44.
2. Clementi E. , Raimondi D.L., J. Chem. Physics., 1963, v.38, pp. 2686-2689.
3. Solid State Physics, v.35 (1980), Acad. Press, N.Y.

УДК 504.054:629.5
ГРНТИ 31.23.33
ВАК 1.4.9

Оценка воздействия на водные объекты пылевых выбросов при перегрузке минеральных удобрений

[1*]Жмырко Т.Г., [1] Новикова Т.К ., [1]Волкова Т. А

[1] Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, 353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93

*E-mail:*zhmyrko.tanya@mail.ru, yriynov@yandex.ru, volkova@mail.ru*

Защита окружающей среды при перегрузке минеральных удобрений с вагона на судно – это комплексная задача. Основные экологические риски здесь – это пыление груза при пересыпке (загрязнение атмосферы и акватории) и возможные утечки/смывы веществ (загрязнение почвы и воды).

Считаются базовыми и обязательными для современных портовых терминалов технологические методы пылеподавления и локализации выбросов. К ним относятся: аспирация и закрытые галереи. Ключевой метод, позволяющий улавливать до 99,9% пыли прямо в местах её образования (бункеры, конвейеры, узлы пересыпки), при этом значительная часть выбросов происходит именно из-за большой высоты падения груза и высокой скорости удара, что подтверждает необходимость таких герметичных систем. Системы орошения (гидрообеспыливание) активно используется, особенно на открытых площадках и узлах перегрузки.

В данной работе оценили воздействие процесса перегрузки аммиачной селитры на водный объект с использованием индекса воздействия, проанализировали технологическую схему «судопогрузочная машина – морское судно (балкер)» с точки зрения воздействия на водный объект, установили источники образования пыли при загрузке удобрений в трюм судна с помощью загрузочного рукава и дали им количественную характеристику.

Аналитическим методом выявили факторы воздействия (оседание и вторичное загрязнение) на водный объект при перегрузке удобрений, предложили способы установления критериев оценки видов воздействия факторов; во внимание принимались количество и распространение воздействия, опасность веществ, соответствие видов воздействия установленным нормативам и разрешениям и интегральная оценка воздействия пылевых выбросов на водный объект при перегрузке минеральных удобрений навалом.

Assessment of the impact of dust emissions on water bodies during the transshipment of mineral fertilizers.

[1*]Zhmyrko T.G., [1] Novikova T.K., [1] Volkova T.A.

[1] Admiral F.F. Ushakov Maritime State University, 93 Lenin Ave., Novorossiysk, 353924, Russia

*E-mail: *zhmyrko.tanya@mail.ru, yriynov@yandex.ru, volkova@mail.ru*

Protecting the environment during the transhipment of mineral fertilizers from railcars to ships is a complex task. The main environmental risks here are dust generation during transfer (air and water pollution) and potential leaks/washouts (soil and water pollution).

Technological methods for dust suppression and emission containment are considered basic and mandatory for modern port terminals. These include aspiration and enclosed galleries. This key method allows for capturing up to 99.9% of dust directly at its source (bins, conveyors, transfer units). A significant portion of the emissions occurs precisely due to the great drop height and high impact velocity of the cargo, confirming the need for such sealed systems. Sprinkler systems (hydro-dust control) are actively used, especially in open areas and transfer units.

This study assessed the impact of ammonium nitrate transhipment on a water body using an impact index. It also analyzed the ship-loading machine–sea vessel (bulk carrier) flow chart for its impact on the water body. It also identified and quantified the sources of dust generated during fertilizer loading into the ship's hold using a loading chute.

Using an analytical method, we identified the impact factors (settling and secondary pollution) on the water body during fertilizer transhipment and proposed methods for establishing criteria for assessing the types of impact factors. The study considered the quantity and distribution of impacts, the hazard of the substances, the compliance of impact types with established standards and permits, and an integrated assessment of the impact of dust emissions on the water body during bulk mineral fertilizer transhipment.

УДК 629.5.06:621.43.055
ГРНТИ 73.34.01
ВАК 2.5.20

Система селективно каталитического восстановления высокого давления судового дизельного двигателя

[1] Зубко С. С., [1*] Туркин В. А.

[1] Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, 353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93

email: 1992sergeyz@mail.ru, [*]turvla@mail.ru

В связи с ужесточением законодательства Международной морской организацией в области снижения выбросов оксидов азота судовыми дизельными установками, необходимо развивать и модернизировать системы очистки выхлопных газов. Для соответствия нормам выбросов IMO Tier III и снижения загрязнения окружающей среды многие океанские суда установили морскую систему SCR для снижения выбросов NO_x.

В качестве объекта исследования рассмотрена система селективного каталитического восстановления высокого давления (HP-SCR) главного судового малооборотного дизельного двигателя MAN 6G60ME-C9.5. Система расположена перед турбиной, что вызывает увеличение противодавления отработавших газов двигателя, а, следовательно, повлияет на его производительность и удельный расход топлива. Во время эксплуатации судна были произведены замеры выбросов NO_x в атмосферу на различных режимах работы главного двигателя (ГД). Проанализирована взаимосвязь между расходом мочевины и выбросами в зависимости от концентрации активного вещества. Проведенное исследование показывает, что более концентрированная смесь мочевины обеспечивает лучшую нейтрализацию оксидов азота при меньшем расходе.

На основании обработки экспериментально полученных в условиях эксплуатации судна данных, были построены графические зависимости расхода мочевины и выбросов NO_x от концентрации активного вещества. При основном режиме эксплуатации главного двигателя 51 % экономия мочевины с содержанием активного вещества 40 % составляет 38 литров в час (912 литров в сутки) по отношению к 32 % мочевины. Автономность плавания без пополнения запасов мочевины в этом случае будет на 68 часов больше.

Сделан вывод о том, что содержание мочевины 32 % не обеспечивает выполнения требований Приложение VI МАРПОЛ к удельному выбросу NO_x в атмосферу с потоком отработавших газов от исследуемого главного двигателя. Необходимо снижение количества выбросов на 0,149 г/(кВт·час), что повлечет дополнительный расход мочевины и сокращение времени автономного плавания, без пополнения запасов мочевины.

High pressure selective catalytic reduction system for marine diesel engines

[1] Zubko S. S., [1*] Turkin V. A.

[1] Admiral Ushakov Maritime State University, 353924, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave., 93

email: 1992sergeyz@mail.ru, [*]turvla@mail.ru, ignatencko.geor@yandex.ru

Due to tightening International Maritime Organization regulations on reducing nitrogen oxide emissions from marine diesel engines, it is necessary to develop and modernize exhaust gas cleaning systems. To comply with IMO Tier III emission standards and reduce environmental pollution, many ocean-going vessels have installed marine SCR systems to reduce NOx emissions.

This study examines the high-pressure selective catalytic reduction (HP-SCR) system of a MAN 6G60ME-C9.5 main marine low-speed diesel engine. The system is located upstream of the turbine, increasing exhaust backpressure and, consequently, impacting engine performance and specific fuel consumption. NOx emissions were measured during vessel operation at various main engine (ME) operating modes. The relationship between urea consumption and emissions was analyzed depending on the active substance concentration. The study demonstrates that a more concentrated urea mixture provides better nitrogen oxide neutralization with lower consumption.

Based on data obtained experimentally during vessel operation, graphical plots were constructed of urea consumption and NOx emissions versus the active substance concentration. Under the main engine's

standard operating mode of 51%, urea with a 40% active substance content saves 38 liters per hour (912 liters per day) compared to 32% urea. In this case, the cruising range without urea replenishment will be 68 hours longer.

It was concluded that a 32% urea content does not ensure compliance with MARPOL Annex VI requirements for specific NOx emissions from the exhaust gas flow from the main engine under study. A reduction in emissions by 0.149 g/(kWh) is necessary, which will entail additional urea consumption and a reduction in cruising range without urea replenishment.

Лазерные технологии в изучении базовых свойств нано- и био-структурированных материалов.

Н.В.Каманина[1,2,3,*], А.С.Тойкка[1,2,3], П.В.Кужаков[1,3]

[1] АО НПО «ГОИ им. С.И. Вавилова», отдел «Фотофизика наноструктурированных материалов и устройств», ул. Бабушкина, д. 36, корпус 1, Санкт-Петербург, 192171, Россия

[2]Санкт-Петербургский электротехнический университет (“ЛЭТИ”), ул. Профессора Попова, 5, Санкт-Петербург, 197376, Россия

[3]Петербургский Институт Ядерной Физики им. Б.П. Константинова Национального Исследовательского Центра «Курчатовский Институт», 188300, Гатчина, Россия

**nvkamanina@mail.ru*

Аннотация

Известно, что оптический инструментарий превосходит все иные способы изучения природы вещества. То обстоятельство, что энергия фотона лежит в диапазоне электронных и колебательных переходов в веществе, позволяет использовать свет для получения уникальной информации о структурных и динамических свойствах вещества, позволяет производить тончайшее изменение его квантово–механического состояния. Эти уникальные лазерные возможности, основанные на использовании оптической техники, играют важнейшую роль в изучении как объёмных, так и тонкоплёночных материалов, в том числе нано- и биоструктурированных.

В настоящей работе, продолжая исследования, начатые ранее [1-3], представлены результаты исследования жидкокристаллического состояния вещества, в сравнении с другими сопряженными органическими материалами, при структурировании мезофазы разного рода нано- и био-объектами в канве применения голографического метода и метода Z-сканирования, как наиболее информативных лазерных методов тестирования нелинейной рефракции, кубичной нелинейной восприимчивости и гиперполяризуемости материалов. В качестве лазерного источника в данном ключе использовалась вторая гармоника (длина волны 532 нм) импульсного неодимового лазера. Голографическое исследование проводилось в условиях дифракции Рамана-Ната на разных пространственных частотах в диапазоне 50-150 мм$^{-1}$ при варьировании плотности энергии от 0,025 до 0,6 Дж×см$^{-2}$. Представлено экспериментально определенное изменение наведенного значения показателя преломления, вычислены нелинейно-оптические параметры. Дано сравнение нелинейных характеристик с таковыми, полученными методом Z-сканирования. Для подтверждения данных о влиянии межмолекулярного комплексообразования, при нано- и биоструктурировании, на свойства материалов представлены квантово-химические расчеты. Спрогнозировано возможное использование устройств на основе сопряженных органических материалов, как базовых элементов оптоэлектроники и биомедицины.

Список литературы

1. Kamanina, N. Refractive Properties of Conjugated Organic Materials Doped with Fullerenes and Other Carbon-Based Nano-Objects. Polymers, 2023, 15, 2819. 14 pages. Q1. https://doi.org/10.3390/polym15132819

2. Toikka, A.; Ilin, M.; Kamanina, N. Perspective Coatings Based on Structured Conducting ITO Thin Films for General Optoelectronic Applications. Coatings, 2024, 14, 178. 16 pages. Q2. https://doi.org/10.3390/coatings14020178

3. Kamanina, N. Advances of the Holographic Technique to Test the Basic Properties of the Thin-Film Organics: Refractivity Change and Novel Mechanism of the Nonlinear Attenuation Prediction”. Polymers, 2024, 16, 2645. Q1. https://doi.org/10.3390/polym16182645

Laser technologies in the study of the basic properties of the nano- and bio-structured materials

N.V.Kamanina[1,2,3,*], A.S.Toikka[1,2,3], P.V.Kuzhakov[1,3]

[1] *Vavilov State Optical Institute, Lab for Photophysics of nanostructured materials and devices, ул. Babushkina Str., 36/1., St.- Petersburg, 192171, Russia*

[2] *St.-Petersburg Electrotechnical University ("LETI"), Prof.Popova Str., 5, Saint-Petersburg, 197376, Russia*

[3] *Nuclear Physics Institute – Scientific Center of "Kurchatov Institute", 188300, Gatchina, Russia*

**nvkamanina@mail.ru*

Abstract

It is known that the optical instrumentation surpasses all other methods of studying the nature of matter. The fact that the energy of a photon lies within the range of the electronic and vibrational transitions in matter makes it possible to use light to obtain unique information about the structural and dynamic properties of matter and to make the finest possible changes to its quantum-mechanical state. These unique laser capabilities, based on the use of the optical technology, play a crucial role in the study of both bulk and thin-film materials, including nano- and bio-structured ones.

In this work, continuing the research initiated earlier [1–3], we present the results of a study of the liquid-crystal state of matter, compared with other conjugated organic materials, when structuring the mesophase using various types of nano- and bio-objects in the context of applying the holographic method and the Z-scanning method — the most informative laser methods for testing nonlinear refraction, cubic nonlinear susceptibility, and hyperpolarizability of the materials. In this context, the second harmonic (wavelength 532 nm) of a pulsed neodymium laser was used as the laser source. The holographic study was conducted under Raman–Nath diffraction conditions at different spatial frequencies within the range of 50–150 mm^{-1}, with the energy density varying from 0.025 to 0,6 $J \times cm^{-2}$.

The experimentally determined change in the induced refractive index value is presented, and the nonlinear optical parameters are calculated. A comparison of the nonlinear characteristics with those obtained using the Z-scanning method is provided. To confirm the data on the influence of the intermolecular complex formation during the nano- and bio-structuring on the properties of the materials, quantum-chemical calculations are presented. The possible use of devices based on conjugated organic materials as basic elements of optoelectronics and biomedicine is predicted.

References

[1] Kamanina, N. Refractive Properties of Conjugated Organic Materials Doped with Fullerenes and Other Carbon-Based Nano-Objects. Polymers, 2023, 15, 2819. 14 pages. Q1. https://doi.org/10.3390/polym15132819

[2] Toikka, A.; Ilin, M.; Kamanina, N. Perspective Coatings Based on Structured Conducting ITO Thin Films for General Optoelectronic Applications. Coatings, 2024, 14, 178. 16 pages. Q2. https://doi.org/10.3390/coatings14020178

[3] . Kamanina, N. Advances of the Holographic Technique to Test the Basic Properties of the Thin-Film Organics: Refractivity Change and Novel Mechanism of the Nonlinear Attenuation Prediction". Polymers, 2024, 16, 2645. Q1. https://doi.org/10.3390/polym16182645

УДК 535-1/-3, 681.7
ГРНТИ 29.31.26
ВАК 1.3.6, 1.3.19

Регистрация спектров источников света с использованием ПЗС-линейки

[1*] Канцедалов В. С., [1] Храмов В. Н.

[1] Волгоградский государственный университет, Физико-технический институт, кафедра радиофизики, 400062, Россия, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100

email: vladimir.khramov@volsu.ru, [*] fob-231_626774@volsu.ru

Спектральные приборы используются для качественного и количественного исследования состава света, который излучается, поглощается или рассеивается веществом. Эти исследования позволяют анализировать свойства веществ, их химический состав [1, 2].

Целью данной работы является разработка, изготовление и определение параметров макетного образца спектрометра на основе ПЗС-линейки TCD1304DG и оптической части с отражательной дифракционной решёткой.

В качестве основной оптической части с отражательной дифракционной решёткой использовалась спектральная насадка для высокоскоростной фотокамеры ВСК-5. Регистрирующая часть прибора была собрана по гибридному способу: несущие и крепежные элементы изготовлены методом 3D-печати, а оптические элементы интегрированы в корпус, также предусмотрено продольное смещение ПЗС-линейки для фокусировки спектра на ней, с помощью юстировочных винтов. В процессе работы была изготовлена электронная схема для ПЗС-линейки и доработана базовая программа на Python: добавлена калибровка полиномом до 4 степени методом наименьших квадратов, возможность останавливать график и добавление маркеров на график с получением относительной интенсивности и длины волны этого маркера.

Проведена калибровка по ртутной лампе по длинам волн 579,1 нм, 577 нм, 546,1 нм и 435,8 нм. Спектральный диапазон составил 350–720 нм. Разрешающая способность, оценённая по спектру гелий-неонового лазера, составила $R \approx 3100$. Также спектрометр уверенно разрешает жёлтый дуплет натрия (589,0/589.6 нм) (рис. 1).

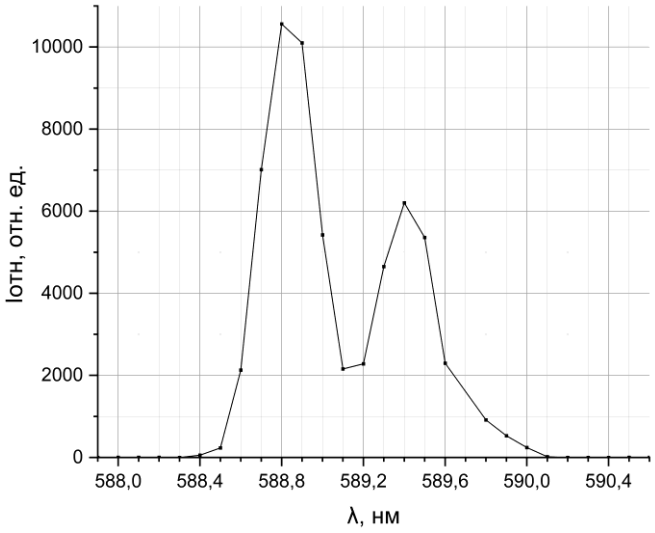


Рисунок 1 – Участок спектра натриевой лампы

Наблюдаемое небольшое расхождение с истинными длинами волны объясняется хроматической аберрацией линзы, не строго перпендикулярным расположением матрицы ПЗС-линейки по отношению к оптической оси фокусирующей линзы, погрешностью калибровки на краях спектрального диапазона.

Была проведена оценка линейной, обратной линейной, угловой дисперсий по спектру ртути в 3 областях, рассчитанных по формулам:

$$D_p \approx \frac{\Delta p}{\Delta \lambda}\left[\frac{\text{пиксель}}{\text{нм}}\right],$$

$$D_l \approx \frac{\Delta l}{\Delta \lambda}\left[\frac{\text{мм}}{\text{нм}}\right],$$

$$\frac{1}{D_l} \approx \frac{\Delta \lambda}{\Delta l}\left[\frac{\text{нм}}{\text{мм}}\right],$$

$$D_\text{c} = \frac{D_l}{f_2},$$

где Δp – количество пиксель приходящихся на заданный спектральный интервал $\Delta\lambda$, $\Delta l = \Delta p * 0{,}008$ мм, так как размер пикселя – 0,008 мм, а шаг их центров – 0,008 мм, f_2 = 90 мм – фокусное расстояние фокусирующей линзы [3].

Таблица 1 – Линейная, обратная линейная, угловая дисперсии

Область	Линейная дисперсия D_p, пиксель/нм	Линейная дисперсия D_l, мм/нм	Обратная линейная дисперсия $1/D_l$, нм/мм	Угловая дисперсия спектрографа D_c, рад/нм
желто-зелёная (577–546,1 нм)	9,7	0,078	12,9	0,00087
сине-зелёная (546,1–435,8 нм)	9,1	0,073	13,7	0,00081
сине-фиолетовая (435,8–404,7 нм)	8,6	0,069	14,6	0,00077

В ходе работы был изготовлен и исследован макетный образец спектрометра на базе ПЗС-линейки TCD1304DG и зарегистрированы спектры различных источников (ртутная лампа, натриевая лампа, гелий-неоновый лазер, лампа накаливания, светодиодная лампа), позволяющие идентифицировать характерные спектральные линии и демонстрирующие работоспособность прибора. В дальнейшем планируется заменить линзу на ахроматическую для высокого разрешения во всём спектральном диапазоне, провести более точную калибровку как по длинам волн, так и спектральной амплитуде, учитывая спектральную чувствительность фотоприемника.

Список литературы

1. Беляков Ю. М., Павлычева Н. К. Спектральные приборы: Учебное пособие / Под ред. докт. техн. наук Н. К. Павлычевой. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2007. – 204 с.

2. Пейсахсон И. В. Оптика спектральных приборов. Изд. 2-е, доп. и перераб., Л., «Машиностроение», 1975. – 312 с.

3. Скоков И. В Оптические спектральные приборы: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1984. – 240 с., ил.

Registration of light source spectra using a CCD array

[1*] Kantsedalov V. S., [1] Khramov V. N.

[1] Volgograd State University, Institute of Physics and Technology, Department of Radiophysics,
100 Universitetsky ave., Volgograd, 400062, Russia
email: vladimir.khramov@volsu.ru, [*]fob-231_626774@volsu.ru

Spectral instruments are used to qualitatively and quantitatively study the composition of light that is emitted, absorbed, or scattered by a substance. These studies allow us to analyze the properties of substances and their chemical composition [1, 2].

The aim of this work is to develop, manufacture and determine the parameters of a prototype spectrometer based on the TCD1304DG CCD line array and the optical part with a reflective diffraction grating.

A spectral attachment for a VSK-5 high-speed camera was used as the main optical part with a reflective diffraction grating. The recording part of the device was assembled using a hybrid method: the supporting and fixing elements were made by 3D-printing, and the optical elements were integrated into the housing, and the CCD line array was also longitudinally shifted to focus the spectrum on it, using adjustment

bolts. During the process, an electronic circuit for the CCD array was manufactured and the basic Python program was modified: calibration with a polynomial up to the 4th degree using the least squares method was added, as well as the ability to pause the graph and add markers to the graph to obtain the relative intensity and wavelength of this marker.

Mercury lamp calibration was performed at the wavelengths of 579.1 nm, 577 nm, 546.1 nm and 435.8 nm. The spectral range was 350-720 nm. The resolution estimated from the spectrum of the helium-neon laser was $R \approx 3100$. The spectrometer also confidently resolves the yellow sodium doublet (589.0/589.6 nm) (Figure 1).

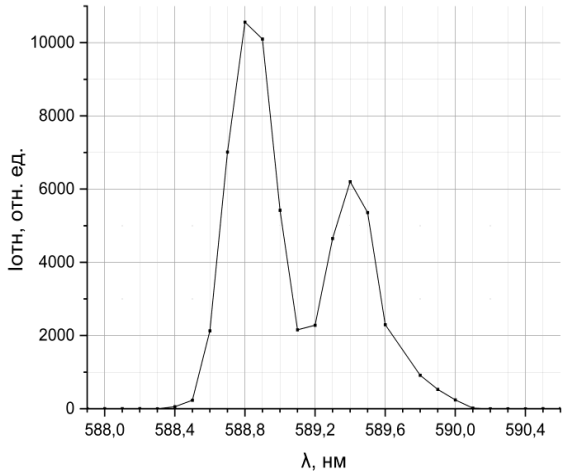


Figure 1 – A section of the spectrum of a sodium lamp

The observed small discrepancy with the true wavelengths is explained by the chromatic aberration of the lens, the non-strictly perpendicular position of the CCD array relative to the optical axis of the focusing lens, and the calibration error at the edges of the spectral range.

The linear, inverse linear, and angular dispersions were estimated from the mercury spectrum in three spectral regions using the following formulas:

$$D_p \approx \frac{\Delta p}{\Delta \lambda}\left[\frac{pixel}{nm}\right],$$

$$D_l \approx \frac{\Delta l}{\Delta \lambda}\left[\frac{\text{mm}}{\text{nm}}\right],$$

$$\frac{1}{D_l} \approx \frac{\Delta \lambda}{\Delta l}\left[\frac{\text{nm}}{\text{mm}}\right],$$

$$D_c = \frac{D_l}{f_2},$$

where Δp is the number of pixels falling within a given spectral interval $\Delta\lambda$, $\Delta l = \Delta p * 0.008\ mm$, since the pixel size is 0.008 mm, and the step of their centers is 0.008 mm, f_2 = 90 mm is the focal length of the focusing lens [3].

Table 1-Linear, inverse linear, angular dispersion

Area	Linear dispersion D_p, pixel / nm	Linear dispersion D_l, mm/nm	Inverse linear dispersion 1/ D_l, nm/mm	Angular dispersion of the spectrograph D_c, rad/nm
yellow-green (577–546.1 nm)	9.7	0.078	12.9	0.00087
blue--green (546.1–435.8 nm)	9.1	0.073	13.7	0.00081
blue-violet (435.8–404.7 nm)	8.6	0.069	14.6	0.00077

In the course of the work, a prototype of the spectrometer based on the TCD1304DG CCD line array was made and studied, and spectra of various sources (mercury lamp, sodium lamp, helium-neon laser, incandescent lamp, LED lamp) were recorded, which make it possible to identify characteristic spectral lines and demonstrate the operability of the device. In the future, it is planned to replace the lens with an achromatic one for high resolution across the entire spectral range, and to carry out more precise calibration both in wavelength and spectral amplitude, taking into account the spectral sensitivity of the photodetector.

References

1. Belyakov Yu. M., Pavlycheva N. K. Spectral devices: A textbook / Ed. by dokt. Technical sciences N. K. Pavlycheva. Kazan: Publishing House of Kazan State Technical University. univ., 2007, 204 p. (in Russian)

2. Peisakhson I. V. Optika spektral'nykh priborov [Optics of spectral devices], 2nd ed., dop. i pererab., L., Mashinostroenie, 1975, 312 p. (in Russian)

3. Skokov I. In Optical spectral devices: Textbook for universities, Moscow: Mashinostroenie Publ., 1984, 240 p., ill. (in Russian)

УДК 66.021.2.065.5
ГРНТИ 61.31.53
ВАК 2.6.7

Анализ фазовой диаграммы галогенидов металлов для синтеза новых люминесцентных материалов

[1] *Караванский Н. А., [1] Ермаков Е. А., [1] Пестерева П. В., [1] Жукова Л. В.

[1] Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, 620062, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
*email: *nikita.karavansky@urfu.ru, e.a.ermakov@urfu.ru, p.v.pestereva@urfu.ru, l.v.zhukova@urfu.ru*

Многокомпонентные твердые растворы на основе галогенидов таллия и серебра привлекают внимание в качестве перспективных люминесцентных материалов, оптические свойства которых существенно зависят от фазового и химического состава. В частности, подлежит изучению система $AgCl_{0.21}Br_{0.64}I_{0.15}$ – TlI в связи с возможностью систематического изменения ширины запрещенной зоны (E_g) посредством изменения концентрации TlI.

В связи с необходимостью изучить данную систему были подготовлены образцы серии составов, которые затем подвергались исследованию методами дифференциально-термического (ДТА) и рентгенофазового (РФА) [1, 2] анализов. Для ДТА были приготовлены навески разного состава массой 1 г с варьируемой концентрацией TlI в $AgCl_{0.21}Br_{0.64}I_{0.15}$ от 0 до 100 мас. % с шагом 10 мас. % и рядом добавочных составов в областях диаграммы, нуждающихся в дополнительном уточнении, например, возле точки эвтектики. После гомогенизации составов в муфельной печи в течении 24 часов и при температуре 400–500 °C образцы были отправлены на ДТА. Методом ДТА были зарегистрированы эндотермические эффекты, на основании которых были определены границы областей при построении фазовой диаграммы.

Методом горячего прессования [3] на прессе Specac 15 Ton были изготовлены плоскопараллельные пластины толщиной 300-500 мкм. Процесс изготовления заключался в помещении в оснастку заготовок заданного состава, их нагрева до 200-250 °C и выдержке в течение 25 мин с целью улучшения пластичности материала. Процесс прессования проводился при нагрузке в 10 т в течение одной минуты с последующим охлаждением до комнатной температуры.

По итогам был получен ряд образцов: 2, 5 и 10 мас. % TlI в $AgCl_{0.21}Br_{0.64}I_{0.15}$. РФА анализ данных образцов проводился на приборе Rigaku MiniFlex 600 при температуре 25 °C и позволил установить кристаллические фазы в областях диаграммы.

В результате был определен ряд гомогенных и гетерогенных областей диаграммы, соответствующих стабильным при комнатной температуре твердым растворам системы $AgCl_{0.21}Br_{0.64}I_{0.15}$ – TlI. При содержании в системе TlI до 5 мас. % установлено наличие гомогенной области модификации Fm3m. Данная область наилучшим образом подходит для синтеза оптических и люминесцентных монокристаллов в связи с оптической однородностью. В концентрационном интервале от 5 мас. % до 62 мас. % предполагается наличие модификаций Fm3m и R-3, что говорит о гетерогенности данной области. Полученные в рамках данного диапазона керамические материалы могут быть использованы в качестве материалов пропускающей оптики. Содержанию TlI от 62 мас. % до 90 мас. % предположительно соответствует область гетерогенности с двумя фазами: R-3 и Pm3m. При высокой доле фазы R-3, уменьшающейся с ростом содержания TlI, составы, полученные в этом диапазоне, отличаются хрупкостью и неоднородностью, в связи с чем не рекомендуются для использования в качестве оптических материалов. Содержанию TlI от 90 мас. % до 98 мас. % предположительно отвечает область гомогенности с модификацией Pm3m. Содержание TlI свыше 98 мас. % может соответствовать однофазной области модификации Cmcm.

В дальнейшем планируется продолжить уточнение фазовой диаграммы методом РФА с целью определения границ областей и идентификации кристаллических фаз. Данные исследования могут помочь выявить корреляцию между фазовыми переходами и люминесцентными характеристиками исследуемых составов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема № FEUZ-2026-0008).

Список литературы

1. Mucha I., Gaweł W. Phase equilibria in the quasi-binary thallium(I) selenide–silver selenide system // Thermochimica Acta. 2020. Т. 686. С. 178567.

2. Pestereva P.V., Yuzhakov I.V., Salimgareev D.D., Lvov A.E., Korsakov A.S., Zhukova L.V. Optical Crystals and Ceramics Based on the AgCl0.25Br0.75 - TlI System as Scintillator Materials // 2024 International Conference Laser Optics (ICLO). 2024. P. 363.

3. Li X. и др. Effect of hot pressing pressure on the microstructure and laser performance of Yb:CaF2 transparent ceramics // Optical Materials. 2025. Т. 159. С. 116605.

Analysis of the phase diagram of metal halides for the synthesis of new luminescent materials

[1*] Karavansky N.A., [1] Ermakov E.A., [1] Pestereva P.V., [1] Zhukova L.V.

[1] Ural Federal University named after B.N. Yeltsin, 620062, Russia, Yekaterinburg, 19 Mira St.

email: [*]nikita.karavansky@urfu.ru, e.a.ermakov@urfu.ru, p.v.pestereva@urfu.ru, l.v.zhukova@urfu.ru

Multicomponent solid solutions based on thallium and silver halides attract attention as promising luminescent materials, whose optical properties are substantially governed by the phase and chemical composition. In particular, the $AgCl_{0.21}Br_{0.64}I_{0.15}$–TlI system is of interest due to the possibility of systematically tuning the bandgap width (Eg) by varying the TlI concentration.

In order to investigate this system, a series of samples with varying compositions was prepared and subsequently examined by differential thermal analysis (DTA) and X-ray diffraction (XRD) analysis [1, 2]. For DTA, samples of different compositions weighing 1 g were prepared with TlI concentrations in $AgCl_{0.21}Br_{0.64}I_{0.15}$ ranging from 0 to 100 wt. % in 10 wt. % increments, along with additional compositions in regions of the phase diagram requiring further refinement, such as near the eutectic point. After homogenization in a muffle furnace at 400–500 °C for 24 hours, the samples were subjected to DTA. Endothermic effects were recorded by DTA, on the basis of which the boundaries of the phase regions were determined during the construction of the phase diagram.

Plane-parallel plates with thicknesses of 300–500 μm were fabricated by hot pressing [3] using a Specac 15 Ton press. The fabrication process involved placing preforms of the specified composition into the die, heating to 200–250 °C, and holding for 25 minutes to improve the plasticity of the material. Pressing was carried out at a load of 10 tons for one minute, followed by cooling to room temperature.

As a result, a series of samples was obtained with TlI contents of 2, 5, and 10 wt. % in $AgCl_{0.21}Br_{0.64}I_{0.15}$. XRD analysis of these samples was performed on a Rigaku MiniFlex 600 diffractometer at 25 °C and allowed the identification of crystalline phases in the phase diagram regions.

Consequently, a number of homogeneous and heterogeneous regions of the phase diagram corresponding to stable solid solutions of the $AgCl_{0.21}Br_{0.64}I_{0.15}$–TlI system at room temperature were determined. At TlI contents up to 5 wt. %, a homogeneous region with the Fm3m modification was established. This region is most suitable for the synthesis of optical and luminescent single crystals due to its optical homogeneity. In the concentration range from 5 wt. % to 62 wt. %, the coexistence of Fm3m and R-3 modifications is presumed, indicating the heterogeneous nature of this region. Ceramic materials obtained within this range may be used as transmitting optical materials. TlI contents from 62 wt. % to 90 wt. % presumably correspond to a heterogeneous region with two phases: R-3 and Pm3m. With a high proportion of the R-3 phase, which decreases with increasing TlI content, compositions obtained in this range are characterized by brittleness and inhomogeneity and are therefore not recommended for use as optical materials. TlI contents from 90 wt. % to 98 wt. % presumably correspond to a homogeneous region with the Pm3m modification. TlI contents exceeding 98 wt. % may correspond to a single-phase region with the Cmcm modification.

In the future, further refinement of the phase diagram by XRD analysis is planned to determine the boundaries of the regions and to identify the crystalline phases. The obtained data may facilitate the elucidation of correlations between phase transitions and the luminescent characteristics of the compositions under study.

To investigate phase transitions and structural types, differential thermal analysis (DTA) was employed to register endothermic events, which formed the basis for the phase diagram presented in Fig. 1. X-ray diffraction analysis performed on a Rigaku MiniFlex 600 diffractometer at 25 °C enabled the determination and refinement of the boundaries of the stable solid solution TlI – $AgCl_{0.21}Br_{0.64}I_{0.15}$, and confirmed the presence of a single-phase region with the Fm3m modification in region IV, which is of particular interest for the fabrication of optical and luminescent materials. The obtained data may facilitate the elucidation of correlations between phase transitions and the luminescent characteristics of the compositions under study.

This work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme № FEUZ-2026-0008).

References

1. Mucha I., Gaweł W. Phase equilibria in the quasi-binary thallium(I) selenide–silver selenide system // Thermochimica Acta. 2020. Vol. 686. P. 178567.

2. Pestereva P.V., Yuzhakov I.V., Salimgareev D.D., Lvov A.E., Korsakov A.S., Zhukova L.V. Optical Crystals and Ceramics Based on the AgCl0.25Br0.75 - TlI System as Scintillator Materials // 2024 International Conference Laser Optics (ICLO). 2024. P. 363.

3. Li X., et al. Effect of hot pressing pressure on the microstructure and laser performance of Yb:CaF2 transparent ceramics // Optical Materials. 2025. Vol. 159. P. 116605.

УДК 004.932.2
ГРНТИ 50.41.25
ВАК 2.3.1

Гибридная модель сегментации видеоданных

Кондрашов Д.С., Филист С.А.

Юго-Западный Государственный Университет, 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94
email: SFilist@gmail.com

В настоящее время в связи с необходимостью обработки видеоданных с беспилотных летательных аппаратов и последовательностей кадров видеоряда в медицинских интроскопических изображениях возрастает актуальность проблемы выделения сегментов в динамических видеоданных [1, 2]. Использование для этих целей свёрточных нейронных сетей (CNN) требует ретроспективных данных об объекте анализа и большой объём примеров. В ряде задач обработки данных такие требования либо невыполнимы, либо не представляется возможным обеспечить требуемую производительность вычислительных ресурсов. Поэтому остаются актуальными радиомические методы, наиболее перспективными из которых являются методы текстурного анализа [3, 4].

В связи с проблемным характерам использования CNN для сегментации изображений видеоряда, для решения этой задачи целесообразно использовать гибридные методы сегментации, основанные как на градиентном анализе перепадов яркости на изображении, так и на текстурном анализе. При градиентном анализе выбираются пиксели изображения с наибольшими перепадами яркости, а при текстурном анализе необходимо описать текстуру, к которой принадлежит пиксель изображения. Но текстура отражает некоторый интегральный показатель пикселя изображения, который должен быть получен в окне или в нескольких окнах. Затем этот интегральный показатель сопоставляется с интегральными показателями, полученными на известных примерах. Для решения этой задачи используется одна из систем машинного обучения, а в качестве интегрального показателя выступает вектор, соответствующий количественной информации о текстуре изображения, включая сложные закономерности, трудноразличимые человеческим глазом.

В данной работе в качестве инструментария текстурного анализа используется «текстурный градиент», сущность которого состоит в том, чтобы определить пиксели, соответствующие переходу из одной текстуры в другую. Следовательно, для получения текстурного градиента необходимо построить решающее правило, которое с некоторой заданной уверенностью определяло переход из одной текстуры в другую. При этом решающее правило определяет принадлежность пикселя только к одной текстуре. Сформировав новое изображение, каждый пиксель которого отражает уровень доверия принадлежности пикселя исходного изображения к заданной текстуре, посредством известных градиентных операторов можем сформировать текстурные границы сегментов.

Таким образом, предлагаемая модель сегментации основана на использовании модели машинного обучения, построенной на основе ретроспективных и актуальных данных, и радиомических методов. Модель машинного обучения позволяет построить новое изображение, отражающее распределение заданной текстуры на входном изображении. Затем это производное изображение обрабатывается градиентными методами, посредством которых определяются границы областей с заданной текстурой [4].

Список литературы

1. Filist, S. Automated system for classifying images of video streams for timely detection of fires / S. Filist, R.T. Al-Kasasbeh, R.A. Tomakova, O.M. Al-Hababheh, A. Al-Fugara, O. Shatalova, N.A. Korenevskiy, I.N. Gorbachev, A. Shaqadan, I. Maksim // International Journal of Remote Sensing. – 2024. – Vol. 45, Issue 22. – Pp. 8157-8180. DOI: 10.1080/01431161.2024.2398818.

2. Томакова, Р.А. Нечеткие нейросетевые технологии для выделения сегментов с патологическими образованиями и морфологическими структурами на медицинских изображениях / Р.А. Томакова, С.А. Филист, А.А. Насер // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. –№ 4. – С.43-49.

3. Томакова, Р.А. Метод обработки и анализа сложно структурируемых изображений на основе встроенных функций среды MATLAB / Р.А. Томакова, С.А. Филист // Вестник Читинского государственного университета. 2012. – № 1 (80). – С.3-9.

4. Киселев, А.В. Методы обработки, анализа и классификации медико-биологических сигналов и данных / А.В. Киселев, С.А. Филист, О.В. Шаталова – Старый Оскол: ТНТ, 2023. – 328 с.

A Hybrid Model for Video Data Segmentation

Kondrashov D.S., Filist S.A.

Southwest State University, 305040, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94
email: SFilist@gmail.com

Currently, the need to process video data from unmanned aerial vehicles and frame sequences of video sequences in medical introscopic images has increased the relevance of segmentation in dynamic video data [1, 2]. The use of convolutional neural networks (CNNs) for these purposes requires historical data about the object of analysis and a large number of examples. For a number of data processing tasks, such requirements are either unfeasible or it is not possible to ensure the required computing performance. Therefore, radiomics methods remain relevant, the most promising of which are texture analysis methods [3, 4].

Due to the problematic nature of using CNNs for video image segmentation, it is advisable to use hybrid segmentation methods based on both gradient analysis of brightness differences in the image and texture analysis to solve this problem. Gradient analysis selects image pixels with the largest brightness differences, while texture analysis requires describing the texture to which the image pixel belongs. However, texture reflects a certain integral metric of an image pixel, which must be obtained in a window or across multiple windows. This integral metric is then compared with integral metrics obtained from known examples. To solve this problem, a machine learning system is used, and the integral metric is a vector corresponding to quantitative information about the image texture, including complex patterns difficult to discern with the human eye.

In this paper, a "texture gradient" is used as a texture analysis tool. Its essence is to identify pixels corresponding to the transition from one texture to another. Therefore, to obtain a texture gradient, it is necessary to construct a decision rule that determines the transition from one texture to another with a given confidence level. This decision rule determines the affiliation of a pixel with only one texture. Having generated a new image, each pixel of which reflects the confidence level of the original image pixel's affiliation with a given texture, we can use known gradient operators to generate texture segment boundaries.

Thus, the proposed segmentation model is based on a machine learning model constructed using historical and current data and radiomic methods. The machine learning model generates a new image reflecting the distribution of a given texture in the input image. This derived image is then processed using gradient methods to determine the boundaries of regions with the given texture [4].

References

1. Filist, S. Automated system for classifying images of video streams for timely detection of fires / S. Filist, R.T. Al-Kasasbeh, R.A. Tomakova, O.M. Al-Habahbeh, A. Al-Fugara, O. Shatalova, N.A. Korenevskiy, I.N. Gorbachev, A. Shaqadan, I. Maksim // International Journal of Remote Sensing. – 2024. – Vol. 45, Issue 22. – Pp. 8157-8180. DOI: 10.1080/01431161.2024.2398818.

2. Tomakova, R.A. Fuzzy neural network technologies for identifying segments with pathological formations and morphological structures in medical images / R.A. Tomakova, S.A. Filist, A.A. Naser // Biomedical radioelectronics. 2012. - No. 4. - P.43-49.

3. Tomakova, R.A. Method for processing and analyzing complexly structured images based on built-in functions of the MATLAB environment / R.A. Tomakova, S.A. Filist // Bulletin of the Chita State University. 2012. - No. 1 (80). - P.3-9.

4. Kiselev, A.V. Methods for processing, analysis and classification of biomedical signals and data / A.V. Kiselev, S.A. Filist, O.V. Shatalova - Stary Oskol: TNT, 2023. - 328 p.

УДК 004.932.1
ГРНТИ 28.23.15
ВАК 2.2.12

Сегментация контура легких на снимках компьютерной томографии методом двойного спектрального сканирования

[1*] Коробков С.В.

[1] Юго-Западный Государственный Университет, 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94
email: [*]s.v.korobkov@gmail.com

Автоматизированный анализ изображений компьютерной томографии (КТ) с выделением узелков как особых точек паренхиматозных изменений решает две взаимосвязанные задачи: поиск тромбов в сосудах, т.е. прямую диагностику тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА) и оценку её осложнений.

Однако детекция любых особых точек практически невозможна без предварительного решения задачи сегментации лёгких. Исходное КТ-изображение грудной клетки содержит множество анатомических структур, которые создают значительный шум и существенно увеличивают пространство поиска. Сегментация позволяет выделить область лёгочной паренхимы, ограничив область интереса (ROI) исключительно тканью лёгких, где с высокой вероятностью локализуются искомые особые точки.

Для решения задачи выделения контура легких и последующего поиска узелков, как блобов - особых точек, было предложено использовать метод двойного спектрального сканирования (ДСС). Суть этого метода состоит в анализе изменений амплитуд выделенных двумерных частот Уолша в некоторой области для уточнения прохождения перепадов яркости. Кроме того, так как в преобразовании Уолша для вычисления амплитуд частот необходимы только операции вычитания и сложения, этот метод является еще и достаточно эффективным с точки зрения вычислительной эффективности.

Метод двойного спектрального сканирования основан на последовательном разбиении исходного изображения на окна, по методике, подобной в [1]. Исходное изображение можно разбить на сканирующие окна W, в которых определяются усредненные (из-за наличия помех) точки границ легких. В сканирующих окнах W определяются сканирующие субокна w, цель которых – найти в условиях шумов по нечетким изображениям границы легких [2]. В сканирующих субокнах w производится расчет двумерного спектра Уолша и по анализу зависимости амплитуд селектированных частот от сдвига субокна вычисляется наиболее значимая оценка точки перехода в данном сканирующем окне. Амплитуды селектированных частот играют в этом случае роль вейвлетов, и тогда анализируются аргументы максимумов, минимумов и нулей результатов свертки вейвлетов и исходного сигнала [3].

Для оценки качества работы метода двойного спектрального сканирования для решения задачи выделения контура легких была сформирована выборка КТ-изображений легких у 26 пациентов, у каждого из которых было получено около 100 срезов грудной полости, где вручную были размечены контуры легких.

Исследования показывают, что применение ДСС позволяет достичь высокой точности сегментации: коэффициент Дайса для лёгких достигает 98% как для правого, так и для левого лёгкого. Это значение на 3-6% выше референтного метода [4] (в зависимости от порогов и выполненных настроек).

Список литературы

1. Малютина, И. А. Методы и алгоритмы анализа рентгенограмм грудной клетки, использующие локальные окна в задачах обнаружения патологий / И. А. Малютина, А. А. Кузьмин, О. В. Шаталова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 3(39). – С. 131-138. – EDN YLAWOE.

2. Метод двойного спектрального сканирования при определении границ артерий на снимках коронарной ангиографии / А. А. Кузьмин, А. Ю. Сухомлинов, С. А. Филист, И. А. Жилин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2024. – Т. 16, № 4(64). – С. 13-24. – EDN ERPIUI.

3. Моделирование рентгеноконтрастных ангиографических изображений для определения параметров сосудов методом двойного спектрального сканирования / А. А. Кузьмин, А. Ю. Сухомлинов, И. А. Жилин [и др.] // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 2(49). – DOI 10.26102/2310-6018/2025.49.2.011. – EDN TRCXWE.

4. Halder A, Chatterjee S, Dey D, Kole S, Munshi S. An adaptive morphology based segmentation technique for lung nodule detection in thoracic CT image. Comput Methods Programs Biomed. 2020 Dec;197:105720. doi: 10.1016/j.cmpb.2020.105720

Segmentation of the lung contour in computed tomography images using dual spectral scanning

[1*] Korobkov S.V.

1 Southwest State University, 305040, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94
*email: * s.v.korobkov@gmail.com*

Automated analysis of computed tomography (CT) images, identifying nodules as singular points of parenchymal changes, solves two interrelated problems: detecting blood clots in blood vessels, i.e., directly diagnosing pulmonary embolism (PE), and assessing its complications.

However, detecting any singular points is virtually impossible without first solving the lung segmentation problem. The original chest CT image contains numerous anatomical structures, which create significant noise and significantly increase the search space. Segmentation allows us to isolate the lung parenchyma by limiting the region of interest (ROI) exclusively to lung tissue, where the desired singular points are highly likely to be localized.

To solve the problem of lung contour extraction and subsequent nodule detection as blobs (single points), the dual spectral scanning (DSS) method was proposed. This method involves analyzing changes in the amplitudes of selected two-dimensional Walsh frequencies in a specific region to clarify the distribution of brightness differences. Furthermore, since the Walsh transform requires only subtraction and addition operations to calculate frequency amplitudes, this method is also quite efficient in terms of computational effectiveness.

The dual spectral scanning method is based on sequentially partitioning the original image into windows, using a technique similar to [1]. The original image can be divided into scanning windows W, in which the averaged (due to noise) lung boundary points are determined. Within the scanning windows W, scanning subwindows w are defined, the purpose of which is to locate the lung boundaries in noisy, fuzzy images [2]. Within the scanning subwindows w, a two-dimensional Walsh spectrum is calculated, and by analyzing the dependence of the amplitudes of the selected frequencies on the subwindow shift, the most significant estimate of the transition point in a given scanning window is calculated. In this case, the amplitudes of the selected frequencies act as wavelets, and then the arguments of the maxima, minima, and zeros of the wavelet convolution results and the original signal are analyzed [3]. To evaluate the performance of the dual spectral scanning method for lung contouring, a sample of CT images of the lungs was compiled from 26 patients. Approximately 100 chest slices were obtained for each patient, where the lung contours were manually delineated.

Studies show that the use of dual spectral scanning (DSS) enables high segmentation accuracy: the Dice coefficient for the lungs reaches 98% for both the right and left lungs. This value is 3-6% higher than the reference method [4] (depending on the thresholds and settings).

Thus, DSS ensures stable and reliable automatic segmentation of lung contours, which is especially important for blob feature analysis. The use of a dual spectral cable not only improves the quality of lung contour illumination but also creates the basis for precise localization of pathological lesions.

References

1. Malyutina, I. A. Methods and algorithms for analyzing chest radiographs using local windows in pathology detection problems / I. A. Malyutina, A. A. Kuzmin, O. V. Shatalova // Caspian Journal: Management and High Technologies. - 2017. - No. 3 (39). - Pp. 131-138. - EDN YLAWOE [in Russian].

2. Double spectral scanning method for determining arterial boundaries in coronary angiography images / A. A. Kuzmin, A. Yu. Sukhomlinov, S. A. Filist, I. A. Zhilin // Bulletin of the Kazan State Power Engineering University. - 2024. - Vol. 16, No. 4 (64). - Pp. 13-24. - EDN ERPIUI [in Russian].

3. Modeling of radiocontrast angiographic images to determine vascular parameters using double spectral scanning / A. A. Kuzmin, A. Yu. Sukhomlinov, I. A. Zhilin [et al.] // Modeling, optimization and

information technology. - 2025. - Vol. 13, No. 2 (49). - DOI 10.26102/2310-6018/2025.49.2.011. - EDN TRCXWE [in Russian].

4. Halder A, Chatterjee S, Dey D, Kole S, Munshi S. An adaptive morphology based segmentation technique for lung nodule detection in thoracic CT image. Comput Methods Programs Biomed. 2020 Dec;197:105720. doi: 10.1016/j.cmpb.2020.105720

УДК 004.89
ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37
ВАК 2.2.12

Эквивалентная графовая модель как основа формирования биоимпедансных изображений грудной клетки

Корсунский Н.А.

Юго-Западный государственный университет, 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94
email: cor.nick2013@yandex.ru

Современные методы электроимпедансной томографии позволяют получать распределение электрических свойств биологических тканей, однако качество реконструкции существенно зависит от устойчивости решения обратной задачи. Высокая чувствительность к шумам измерений и необходимость использования априорной информации ограничивают практическое применение классических алгоритмов реконструкции. Одним из перспективных направлений является использование эквивалентных электрических моделей, позволяющих представить исследуемый объект в виде системы взаимосвязанных электрических элементов. Такой подход обеспечивает физически интерпретируемое описание результатов биоимпедансных измерений и создаёт основу для построения изображений без непосредственного решения классической обратной задачи [1].

В разработанной системе измерения выполняются с использованием восьми поверхностных электродов, формирующих двадцать восемь независимых измерительных конфигураций. Полученный массив комплексных значений биоимпеданса отражает интегральные электрические свойства исследуемой области, однако не содержит непосредственной информации о пространственном распределении параметров тканей. Для интерпретации экспериментальных данных предлагается использовать эквивалентную графовую модель, в которой вершины соответствуют расположению электродов, а рёбра характеризуют электрические связи между ними. Параметры графовой модели определяются по результатам биоимпедансных измерений и позволяют сформировать электрически согласованное представление исследуемой области. Полученная графовая модель обладает пространственной интерпретацией, поскольку положение каждой вершины определяется реальным расположением соответствующего электрода на поверхности грудной клетки. Это позволяет использовать параметры графа для построения пространственного распределения биоимпедансных характеристик. В отличие от традиционных методов электроимпедансной томографии, предлагаемый подход сначала восстанавливает эквивалентную электрическую структуру исследуемого объекта, а затем использует её для формирования биоимпедансного изображения. Благодаря этому уменьшается влияние случайных погрешностей измерений и обеспечивается физическая согласованность получаемого распределения электрических параметров. Дополнительным преимуществом метода является возможность работы с многочастотными измерениями. Для каждой частоты формируется самостоятельная графовая модель, а совокупность моделей образует пространственно-частотное представление электрических свойств исследуемых тканей, которое может использоваться в интеллектуальных системах диагностики [2].

Полученные изображения могут использоваться для выявления локальных электрических неоднородностей, расчёта диагностических признаков и последующего анализа с применением методов искусственного интеллекта при диагностике заболеваний органов дыхания.

Список литературы

1. Шаталова, О.В. Биомедицинская спектроскопия в классификаторах функционального состояния органов и систем человека, построенных на основе гибридных технологий искусственного интеллекта / О.В. Шаталова, А.В. Серебровский, Н.С. Стадниченко, А.Ю. Новоселов, А.В. Лях // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2023. – Т. 22, № 2. – С. 100-113. – DOI: 10.36622/VSTU.2023.22.2.015.

2. Шаталова, О.В. Технологии биоимпедансной спектроскопии в системах поддержки принятия решений при диагностике социально значимых заболеваний / О.В. Шаталова, Н.С. Стадниченко, М.А. Ефремов, И.А. Башмакова, А.В. Лях, А.В. Серебровский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника,

информатика. Медицинское приборостроение. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 148–174. – DOI: https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-4-148-174.

Equivalent graph model as the basis for the formation of bioimpedance images of the chest

Korsunsky N.A.

Southwest State University, 305040, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94
email: cor.nick2013@yandex.ru

Modern methods of electroimpedance tomography make it possible to obtain the distribution of electrical properties of biological tissues, however, the quality of reconstruction significantly depends on the stability of the solution to the inverse problem. High sensitivity to measurement noise and the need to use a priori information limit the practical application of classical reconstruction algorithms. One of the promising directions is the use of equivalent electrical models that make it possible to represent the object under study as a system of interconnected electrical elements. This approach provides a physically interpretable description of the results of bioimpedance measurements and creates the basis for image construction without directly solving the classical inverse problem [1].

In the developed system, measurements are performed using eight surface electrodes forming twenty-eight independent measuring configurations. The resulting array of complex bioimpedance values reflects the integral electrical properties of the area under study, but does not contain direct information about the spatial distribution of tissue parameters. To interpret the experimental data, it is proposed to use an equivalent graph model in which the vertices correspond to the location of the electrodes, and the edges characterize the electrical connections between them. The parameters of the graph model are determined based on the results of bioimpedance measurements and make it possible to form an electrically consistent representation of the area under study. The resulting graph model has a spatial interpretation, since the position of each vertex is determined by the actual location of the corresponding electrode on the chest surface. This makes it possible to use graph parameters to construct a spatial distribution of bioimpedance characteristics. Unlike traditional methods of electroimpedance tomography, the proposed approach first reconstructs the equivalent electrical structure of the object under study, and then uses it to form a bioimpedance image. This reduces the impact of random measurement errors and ensures the physical consistency of the resulting distribution of electrical parameters. An additional advantage of the method is the ability to work with multi-frequency measurements. An independent graph model is formed for each frequency, and the set of models forms a spatial-frequency representation of the electrical properties of the studied tissues, which can be used in intelligent diagnostic systems [2,3].

The resulting images can be used to identify local electrical inhomogeneities, calculate diagnostic signs, and then analyze them using artificial intelligence methods in the diagnosis of respiratory diseases.

References

1. Shatalova, O.V. Biomedical spectroscopy in classifiers of the functional state of human organs and systems based on hybrid artificial intelligence technologies / O.V. Shatalova, A.V. Serebrovsky, N.S. Stadnichenko, A.Yu. Novoselov, A.V. Lyakh // System Analysis and Management in Biomedical Systems. - 2023. - Vol. 22, No. 2. - P. 100-113. - DOI: 10.36622/VSTU.2023.22.2.015.

2. Shatalova, O.V. Bioimpedance spectroscopy technologies in decision support systems for the diagnosis of socially significant diseases / O.V. Shatalova, N.S. Stadnichenko, M.A. Efremov, I.A. Bashmakova, A.V. Lyakh, A.V. Serebrovsky // Bulletin of the South-West State University. Series: Control, Computing, Informatics. Medical Instrument Making. - 2023. - Vol. 13, No. 4. - P. 148-174. - DOI: 10.21869/2223-1536-2023-13-4-148-174.

УДК 621.391.63, 535.8
ГРНТИ 49.29.01
ВАК 2.2.7, 2.2.15

Экспериментальное исследование перекрестных помех в многосердцевинном оптическом волокне

[1,2] Косова Ю. А., [3,4] Болтанский М.В.

[1] Российский университет транспорта РУТ (МИИТ), 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр.9

[2] Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), 111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная, д.8А

[3] ООО "КуРэйт", 143026, Россия, Москва

[4] "Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)", 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9

*email: *yu.a.kosova@mtuci.ru*

Исследования [1, 2] выявляют перспективы и необходимость исследования многосерцевинного волокна (МСВ) для проектирования современной инфраструктуры телекоммуникационных систем. В работе [3] приведена методика проведения экспериментального исследования перекрёстных помех в МСВ.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования перекрёстных помех в МСВ. Перекрёстными помехам будем называть часть оптического сигнала возбуждаемой серцевины, которая регистрируется в соседних сердцевинах волокна.

При проведении эксперимента использовалось гексагональное МСВ с семью сердцевинами, произведенного компанией ПАО ПНППК [1] длиной 3м. Получены матрицы перекрёстных помех при длинах волн 1548 нм, 1310 нм и 910 нм. Установлено, что средний уровень перекрёстных помех составляет при длине волны 1548 нм -48 дБ, при 1310 нм -42 дБ, а при 910 нм -54 дБ.

Установлено, что перекрёстные помехи между сердцевинами в волокне, величина которых зависят от длины волны и пары сердцевин. Полученные результаты имеют практическое значение для проектирования современной инфраструктуры телекоммуникационных систем. Так, для параллельной передачи квантового и классического сигналов целесообразно использование пары сердцевин 1 и 4, при этом требуется осуществлять передачу квантового сигнала на длине волны 1310 нм, а классического на 1548 нм.

Список литературы

1. Применение многосердцевинных оптических волокон для квантовых сетей / О. Егорова, К. Ерохин, С. Журавлев [и др.] // Первая миля. – 2022. – № 8(108). – С. 44-51.

2. Косова, Ю. А. Наукометрический анализ перспектив развития многосердцевинных и полых световодов / Ю. А. Косова, К. Ш. Автандилов, С. В. Павлов // I-methods. – 2025. – Т. 17, № 4.

3. Метод компенсации влияния внешних электромагнитных и полей на квантовое распределение ключей в оптическом волокне / А. В. Бахус, А. К. Наниджанян, М. А. Ярыгин, Ю. А. Косова // I-methods. – 2026. – Т. 18, № 2.

Experimental Study of Crosstalk in Multicore Optical Fiber

[1,2*] Kosova Yu. A., [3,4] Boltanskiy M. V.

[1] Russian University of Transport (MIIT), 127994, Russia, Moscow, Obraztsova street, 9/9

[2] Moscow Technical University of Communications and Informatics, 111024, Russia, Moscow, str. Aviamotornaya 8a

[3] Limited Liability Company "QRate", 143026, Russia, Moscow

[4] Moscow Institute of Physics and Technology, 141701, Russia, Dolgoprudny, Institutskij lane, 9

*email: * yu.a.kosova@mtuci.ru*

Studies [1, 2] demonstrate the potential and the need for further investigation of multicore fiber (MCF) in the context of designing next-generation telecommunication infrastructure. Reference [3] describes an experimental procedure for measuring crosstalk in MCF.

The present work reports the results of an experimental study of crosstalk in multicore fiber. In this paper, crosstalk is defined as the fraction of the optical power launched into an excited core that is detected in the adjacent cores of the fiber.

The experiment was carried out on a hexagonal seven-core MCF, 3 m in length, manufactured by the Russian company PAO PNPPK [1]. Crosstalk matrices were obtained at wavelengths of 1548 nm, 1310 nm, and 910 nm. The average crosstalk levels were found to be –48 dB at 1548 nm, –42 dB at 1310 nm, and –54 dB at 910 nm.

It is also shown that the inter-core crosstalk depends on both the operating wavelength and the specific core-pair configuration. The obtained results are of practical relevance for the design of modern telecommunication systems. In particular, for parallel transmission of quantum and classical signals, the use of core pair 1 and 4 is recommended, with the quantum channel operating at 1310 nm and the classical channel at 1548 nm.

References

1. Egorova, O., Erokhin, K., Zhuravlev, S., et al. “Application of Multicore Optical Fibers for Quantum Networks.” The First Mile, no. 8(108), 2022, pp. 44–51.

2. Kosova, Yu. A., Avtandilov, K. Sh., and Pavlov, S. V. “Scientometric Analysis of Development Prospects for Multicore and Hollow-Core Fibers.” I-methods, vol. 17, no. 4, 2025.

3. Bakhus, A. V., Nanidzhanyan, A. K., Yarygin, M. A., and Kosova, Yu. A. “Method for Compensating the Influence of External Electromagnetic Fields on Quantum Key Distribution in Optical Fiber.” I-methods, vol. 18, no. 2, 2026.

УДК 535.243; 535.36
ГРНТИ 29.31.26, 76.13.15
ВАК 1.3.6, 2.2.6

Локационный метод определения компонентного состава газовых сред

Кугейко М.М., Трусевич Л.А.., Олехнович Е.А.

Белорусский государственный университет, 220030, пр-т Независимости, 4, Минск, Беларусь
e-mail: kugeiko@bsu.by

Из оптических методов контроля газовых сред на практике наибольшее применение получили абсорбционные, базирующиеся на измерении ослабления излучения контролируемой средой. Недостатком данных методов является сильная зависимость от изменений аппаратурных констант приемно-излучающих, регистрирующих блоков измерительной системы, температуры, давления окружающей среды. Требуют использования узкополосных фильтров, высоко монохроматических источников излучения, защиты оптических элементов от загрязнений [1]. С появлением лазеров [1,2] данные методы получили дополнительные преимущества, поскольку им присущи такие достоинства как высокая концентрационная чувствительность, оперативность, дистанционность, высокое пространственное разрешение. Особо следует выделить среди них метод дифференциального поглощения. Широко используется в средах с возможностью выделения центра и крыла линий поглощения газовых компонент.

Для многокомпонентных сред при перекрытии их спектральных линий используются многоспектральные измерения (устанавливаются комбинации длин волн [3]), требующие решения обратной задачи. При этом задача нахождения концентрации газовых компонент из результатов измерений относится к классу некорректных математических, поскольку решение таких задач может быть неустойчивым по отношениям к малым вариациям измеряемых данных, приводит к большим погрешностям в определении компонентного состава смеси.

Задача контроля многокомпонентных газовых сред еще больше усложняется, когда их спектральные линии сильно перекрываются. В этом случае использование выбранных спектральных каналов измерения, соответствующих линиям поглощения исследуемых компонент, требует учета вклада их перекрытия [3]. Если при этом проводить спектральные измерения при большом наборе спектральных каналов, то для решения данной задачи используются инверсные методы, комбинирующие математический алгоритм решения обратной задачи и один из методов расчета переноса излучения в среде (наиболее точный из них метод Монте Карло). Используемые численные методы расчета характеристик поля рассеянного или проходящего через среду излучения либо не обеспечивают необходимой для практики точности, либо требуют больших вычислительных затрат (как, например, метод Монте Карло) и поэтому исключают возможность оперативной интерпретации спектральных измерений. Кроме того, для устойчивого решения обратной задачи необходимо чтобы количество спектральных каналов регистрации излучения в несколько раз превышало количество модельных параметров, что еще больше затрудняет интерпретацию данных в режиме реального времени.

Новый подход к решению обратной задачи оптического зондирования аэрозольных сред на основе установления регрессионных соотношений между определяемыми параметрами и измеряемыми оптическими характеристиками был предложен в [4]. Регрессионный метод решения обратных задач предполагает, что искомые параметры среды могут быть найдены при помощи некоторой статистической функции от измеряемых оптических характеристик. Получены и для многокомпонентных газовых сред с сильно перекрывающимися спектральными линиями.

В [5] рассмотрена возможность оперативного определения концентрации компонентного состава газовых смесей с перекрывающимися линиями их поглощения, повышения при этом точности измерений. Исследована эффективность определения концентрации компонентного состава газовых сред методом оптической спектроскопии на основе использования регрессионных соотношений, устанавливаемых между определяемыми и измеряемыми параметрами. Показаны возможности оперативного определения количественных значений концентраций исследуемых компонент газовой среды, повышения точности. Оценена эффективность использования данного подхода в условиях сильного перекрытия спектральных линий газовых компонент.

Данный способ в условиях перекрытия спектральных линий компонентов газа требует использования большого количества спектральных линий, разнесенных на $\Delta\lambda$ - ширину спектрального разрешения спектрометра или задаваемую, что, в свою очередь, увеличивает

погрешности измерительной информации**,** а значит, и в определяемые концентрации. Кроме того, необходимость использования спектральной аппаратуры усложняет процесс измерений, особенно в условиях атмосферы, где требуется защита оптических элементов измерительной системы от загрязнений и влаги, делает измерительную аппаратуру менее эксплуатационно устойчивой, более дорогостоящей. Этот способ не позволяет определять концентрации парниковых газов локационными методами (на разных высотах в атмосфере), поскольку требуется использование источников излучения (лазеров) с линиями излучения, разнесенными на ширину спектрального разрешения спектрометра $\Delta\lambda$. Лазерных источников с линиями излучения, отличающимися на $\Delta\lambda$ порядка нанометров в используемом спектральном диапазоне, не существует в настоящее время.

Ниже рассматривается возможность упрощения процесса измерений, расширения функциональных возможностей измерения концентрации паров H_2O и CO_2 атмосферы в условиях перекрытиях спектральных линий исследуемых компонент за счет использования лазерно-локационных систем, повышение эксплуатационной устойчивости измерительной системы (на примере CO_2 и паров H_2O).

Поставленная задача достигается тем, что концентрации компонентного состава CO_2 и паров H_2O в атмосфере для измеренных температуры T^0K и давления P атмосферы поглощение определяют путем регистрации сигналов обратного рассеяния $I_1(\lambda_i)$, $I_2(\lambda_i)$, $I_3(\lambda_i)$ $I_4(\lambda_i)$, соответствующих накоплению их на участках $[r_1,r_2]$, $[r_1,r_3]$, $[r_2, r_3]$, $[r_3, r_4]$, при посылке зондирующего излучения в атмосферу на длинах волн λ_i, i = 1, 2, равным соответственно 2680 и 2740 нм, из соотношения

$$P(\lambda_i) = \sqrt{\frac{I_2(\lambda_i) - I_1(\lambda_i)}{I_2(\lambda_i) - I_1(\lambda_i) I_4(\lambda_i) / I_3(\lambda_i)}},$$

где r_1 – начало участка зондирования, r_4 – конец участка зондирования, причем участки $[r_2, r_3]$, $[r_3, r_4]$ располагаются в конце трассы зондирования и являются малыми, то есть $[r_2,r_3]\to 0$, $[r_3,r_4]\to 0$, а численные значения M_{k,P,T^0K} концентрации газовых компонент в атмосфере, где k – CO_2 и пары H_2O, определяют с использованием уравнений множественной регрессии

$$M_{k,P,T^0K} = a + \sum_{m=1}^{N} b_m \mathrm{C}_m$$

где N – количество главных компонент C_m, численные значения которых выделяются из спектральных значений $P(\lambda_i)$, a, b_m – численные коэффициенты, найденные заранее с использованием метода наименьших квадратов при аппроксимации указанным выше уравнением статических данных о множестве связей величин главных компонент для $P(\lambda_i)$ с концентрациями определяемых газовых компонент при множестве различных их концентраций в атмосфере и учете уширения спектральных линий поглощения за счет температуры и давления.

Показано, что предлагаемый способ, используется в условиях даже сильного перекрытия спектральных линий поглощения CO_2 и паров H_2O, для интерпретации измерительной информации не требуется выполнения каких либо условий или использования дополнительной информации о состоянии атмосферы. Способ обладает устойчивостью к погрешностям измерений величин поглощения (в то время как известные аналоги из-за некорректности решаемых задач могут приводить к большим погрешностям в определении концентраций компонентного состава газовой смеси). За счет использования только двух длин волн погрешности определения концентраций паров H_2O и CO_2 атмосферы (по сравнению с многоспектральным методом [5) отличаются на единицы процентов.

Важным достоинством предлагаемого способа является упрощение измерительной аппаратуры при использовании предлагаемого способа: 1) исключается необходимость включения дорогостоящих спектрометров в ее состав, 2) две длины волны, разнесенные на малое расстояние имеют практически одинаковую спектральную чувствительность, что позволяют использовать одно фотоприемное устройство, а также один источник излучения даже при использовании лазеров – за счет возможности перестройки длины волны в используемом диапазоне длин волн.

Кроме того, использование только двух длин волн позволяет проводить измерения не только за счет разнесения источников и приемников излучения (базисными методами), но и локационными системами (лидарами), в которых величины спектрального поглощения определяются из измеряемых сигналов обратного рассеяния с разных расстояний. что, в свою очередь, позволяет

устанавливать концентрации парниковых газов CO_2 и паров H_2O на разных высотах в атмосфере. Это базисными методами практически не осуществимо. Использование двух длин волн в лазерно-локационных измерениях широко используется, и более того, существуют лазерные источники с предлагаемыми длинами волн. Таким образом, расширяются и функциональные возможности предлагаемого способа.

Список литературы

1. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. – 55

2. Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. СПб.: Изд. Лань. 2012. 288 с.

3. Городничев В.А. Разработка методов и оптико-электронных средств лазерного оперативного контроля многокомпонентных газовых смесей составляющих ракетных топлив и других токсичных веществ. Докторская диссертация. 2009 – 308 с.

4. Кугейко М.М., Лысенко С.А. Лазерная спектронефелометрия аэродисперсных сред. М: БГУ, 2012. 208 с.

5. Кугейко М.М., Баравик А.А. Определение концентрации компонентного состава газов методом оптической спектроскопии в условиях перекрытия их спектральных линий./ Оптика и спектроскопия, 2021, т.129, вып. 10. С.1221-1227.

Location Method for Determining the Component Composition of Gas Media

Kugeiko M.M., Trusevich L.A., Olekhnovich E.A.

Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave., Minsk, Belarus, 220030

e-mail: kugeiko@bsu.by

Among optical methods for monitoring gaseous environments, absorption methods, based on measuring the attenuation of radiation by the controlled environment, have received the most practical application. A disadvantage of these methods is their strong dependence on changes in the instrumental constants of the receiving, emitting, and recording units of the measuring system, as well as on ambient temperature and pressure. They require the use of narrow-band filters, highly monochromatic radiation sources, and protection of optical elements from contamination [1]. With the advent of lasers [1,2], these methods have gained additional advantages, as they offer such features as high concentration sensitivity, efficiency, remoteness, and high spatial resolution. Of particular note is the differential absorption method. It is widely used in environments that allow the separation of the center and wing of gaseous component absorption lines.

For multicomponent media with overlapping spectral lines, multispectral measurements are used (wavelength combinations are established [3]), requiring the solution of an inverse problem. The problem of determining the concentration of gas components from measurement results is considered ill-posed mathematically, as the solution to such problems can be unstable with respect to small variations in the measured data, leading to large errors in determining the mixture's component composition.

The problem of monitoring multicomponent gaseous media is further complicated when their spectral lines overlap significantly. In this case, the use of selected spectral measurement channels corresponding to the absorption lines of the components under study requires accounting for the contribution of their overlap [3]. If spectral measurements are carried out over a large set of spectral channels, then inverse methods are used to solve this problem, combining a mathematical algorithm for solving the inverse problem and one of the methods for calculating radiative transfer in the medium (the most accurate of these is the Monte Carlo method). The numerical methods used to calculate the characteristics of the field of scattered or transmitted radiation either do not provide the accuracy required for practical applications or are computationally intensive (such as the Monte Carlo method), thus precluding the rapid interpretation of spectral measurements. Furthermore, a stable solution to the inverse problem requires that the number of spectral channels for recording radiation be several times greater than the number of model parameters, further complicating real-time data interpretation.

A new approach to solving the inverse problem of optical sensing of aerosol media based on establishing regression relationships between the determined parameters and the measured optical characteristics was proposed in [4]. The regression method for solving inverse problems assumes that the desired parameters of the medium can be found using a certain statistical function of the measured optical

characteristics. We will obtain this function for multicomponent gaseous media with strongly overlapping spectral lines.

In [5], the possibility of rapidly determining the concentration of gas mixtures with overlapping absorption lines, while improving measurement accuracy, is considered. The efficiency of determining the concentration of gas mixture components using optical spectroscopy is studied, based on the use of regression relationships established between the determined and measured parameters. The potential for rapidly determining quantitative values of the concentrations of the studied gas components, while improving accuracy, is demonstrated. The effectiveness of this approach under conditions of significant overlap of the spectral lines of gas components is assessed. This method, under conditions of overlapping spectral lines of gas components, requires the use of a large number of spectral lines spaced by Δλ—the spectral resolution width of the spectrometer or a specified value—which, in turn, increases the errors in the measurement information and, consequently, in the determined concentrations. Furthermore, the need to use spectral equipment complicates the measurement process, especially in atmospheric conditions, where the optical elements of the measuring system must be protected from contamination and moisture. This makes the measuring equipment less robust and more expensive. This method does not allow for the determination of greenhouse gas concentrations using location-based methods (at different altitudes in the atmosphere), as it requires the use of radiation sources (lasers) with emission lines separated by the spectral resolution of the spectrometer, Δλ. Laser sources with emission lines that differ by Δλ on the order of nanometers in the spectral range used do not currently exist.

Below, the possibility of simplifying the measurement process, expanding the functionality of measuring the concentration of H2O and CO2 vapors in the atmosphere under conditions of overlapping spectral lines of the components under study through the use of laser-location systems, and increasing the operational stability of the measuring system (using CO2 and H2O vapors as an example) is considered.

The stated task is achieved by the fact that the concentrations of the component composition of CO2 and H2O vapor in the atmosphere for the measured temperature T^0K and pressure P of the atmosphere absorption are determined by recording the backscattered signals $I_1(\lambda i)$, $I_2(\lambda i)$, $I_3(\lambda i)$ $I_4(\lambda i)$, corresponding to their accumulation in the sections $[r_1,r_2]$, $[r_1,r_3]$, $[r_2, r_3]$, $[r_3, r_4]$, when sending probing radiation into the atmosphere at wavelengths λi, i = 1, 2, equal to 2680 and 2740 nm, respectively, from the relation

$$P(\lambda_i) = \sqrt{\frac{I_2(\lambda_i) - I_1(\lambda_i)}{I_2(\lambda_i) - I_1(\lambda_i) I_4(\lambda_i) / I_3(\lambda_i)}},$$

where r_1 is the beginning of the probing section, r_4 is the end of the probing section, and the sections $[r_2, r_3]$, $[r_3,r_4]$ are located at the end of the probing path and are small, that is, $[r_2,r_3]]\rightarrow 0$, $[r_3,r_4]]\rightarrow 0$, and the numerical values M_{k,P,T^0K} concentrations of gas components in the atmosphere, where k is CO^2 and H_2O vapor, are determined using multiple regression equations

$$M_{k,P,T^0K} = a + \sum_{m=1}^{N} b_m C_m$$

where N is the number of principal components C_m, the numerical values of which are extracted from the spectral value $P(\lambda_i)$, a, b_m are numerical coefficients found in advance using the least squares method when approximating the above equation of static data on the set of relationships between the values of the principal components for with the concentrations of the determined gas components at $P(\lambda_i)$ many different concentrations in the atmosphere and taking into account the broadening of the spectral absorption lines due temperature and pressure.

The proposed method has been shown to be usable even under conditions of significant overlap between the spectral absorption lines of CO^2 and H_2O vapor. Interpretation of the measurement data does not require any conditions or additional information on the atmospheric state. The method is robust to absorption measurement errors (while known analogs, due to the improper nature of the problems being solved, can lead to large errors in determining the concentrations of the component composition of the gas mixture). By using only two wavelengths, the errors in determining the concentrations of H_2O and CO^22 vapor in the atmosphere (compared to the multispectral method [5]) differ by a few percent.

A significant advantage of the proposed method is its simplification of the measuring equipment: 1) it eliminates the need for expensive spectrometers; 2) Two wavelengths separated by a small distance have

practically the same spectral sensitivity, which allows the use of one photodetector, as well as one radiation source, even when using lasers, due to the ability to tune the wavelength in the wavelength range used.

Furthermore, using only two wavelengths allows for measurements not only by separating the radiation sources and receivers (using standard methods), but also by location systems (lidars), in which spectral absorption values are determined from measured backscatter signals from different distances. This, in turn, allows for the determination of concentrations of greenhouse gases (CO^2) and H_2 O vapor at different altitudes in the atmosphere. This is practically impossible using standard methods. The use of two wavelengths in laser ranging measurements is widely used, and laser sources with these wavelengths are available. This expands the functionality of the proposed method.

References

1. Mezheris R. Laser Remote Sensing. Moscow: Mir, 1987. – 55

2. Privalov V. E., Fotiadi A. E., Shemanin V. G. Lasers and Environmental Monitoring of the Atmosphere. St. Petersburg: Lan Publishing House. 2012. 288 p.

3. Gorodnichev V. A. Development of Methods and Optoelectronic Means for Laser Operational Monitoring of Multicomponent Gas Mixtures Components of Rocket Fuels and Other Toxic Substances. Doctoral Dissertation. 2009. – 308 p.

4. Kugeiko M. M., Lysenko S. A. Laser Spectronephelometry of Aerodisperse Media. Moscow: BSU, 2012. 208 p.

5. Kugeiko M. M., Baravik A. A. Determination of the concentration of the component composition of gases by optical spectroscopy under conditions of overlapping of their spectral lines. / Optics and spectroscopy, 2021, Vol. 129, issue 10. P. 1221-1227.

УДК 535.8 , 539.8
ГРНТИ 473531
ВАК 120200, 010300

Полупроводниковые источники с прямой модуляцией излучения для низкоинтенсивной оптической терапии

***С.А. Куценко, А.Е.Орлянский**

Волгоградский государственный университет,
400062, Россия, г. Волгоград, Университетский проспект 100
email: svetlana_kutsenko@volsu.ru

В терапевтической практике находят широкое применение устройства для локального облучения мягких тканей низкоинтенсивным излучением. В качестве источников излучения в таких приборах могут быть использованы как полупроводниковые лазеры, так и светодиоды. Причём наилучший эффект показало воздействие амплитудно-модулированного излучения с частотами модуляции в диапазоне 50-150 Гц [1,2].

В данной работе показано, что наиболее высокая стабильность характеристик излучения и небольшие управляемые напряжения достигаются в системах с прямой или внутренней модуляцией излучения путём изменения силы тока накачки лазера или светодиода.

Разработана и реализована электрическая схема, в которой амплитудная модуляция излучения полупроводниковых лазеров и светодиодов осуществляется путём управления током питания с помощью быстродействующих транзисторных ключей. Основным элементом схемы выступает генератор стабильного тока, реализованный с помощью полевых транзисторов и подстроечного резистора, включённого в истоковую цепь и задающего величину рабочего тока для каждого типа полупроводникового источника.

С помощью разработанного устройства осуществлена модуляция мощности излучения светодиодов с длинами волн 460, 530, 590 и 650 нм и полупроводникового лазера с длиной волны 655 нм.

Получено модулированное излучение, у которого мощность импульсов, их длительность и скважность стабильны и управляемы в диапазоне частот до 100 кГц, что достаточно для применения таких источников в низкоинтенсивной оптической терапии [1].

Список литературы

1. Применение низкоинтенсивных лазеров в клинической практике / под. Ред. О. К. Скобелкина. – М., 1997.

2. Рогаткин Д. А. Низкоинтенсивная лазерная терапия. Взгляд физика на механизмы действия и опыт применения [Электронный ресурс] / Д. А. Рогаткин. В. В. Черный – (http://bsfp/media-security.ru bsff2/bb05bn5/htm).

Directly modulated semiconductor sources for low-level optical therapy

***S.A. Kutsenko, A.E. Orlyansky**

Volgograd State University,
400062, Russia, Volgograd, University Avenue 100
email: svetlana_kutsenko@volsu.ru

Devices for local irradiation of soft tissues with low-intensity radiation are widely used in therapeutic practice. Both semiconductor lasers and LEDs can be used as radiation sources in such devices. The best effect was shown by exposure to amplitude-modulated radiation with modulation frequencies in the range of 50-150 Hz [1,2].

It has been shown that the highest stability of radiation characteristics and low controlled voltages are achieved in systems with direct or internal modulation of radiation by changing the pump current of the laser or LED.

The electrical circuit has been developed and implemented in which amplitude modulation of the radiation of semiconductor lasers and LEDs is achieved by controlling the supply current using high-speed transistor switches. The main element of the circuit is a stable current generator, implemented using field -

effect transistors and a trimmer resistor included in the source circuit and setting the operating current for each type of semiconductor source.

Using the developed device, the radiation power of LEDs with wavelengths of 460, 530, 590 and 650 nm and a semiconductor laser with a wavelength of 655 nm was modulated.

The power, duration, and repetition rate of the generated radiation pulses are stable and controllable in a frequency range of up to 100 kHz. This is sufficient for the use of such sources in therapeutic practice [1].

References

1. Application of low-intensity lasers in clinical practice / Ed. O. K. Skobelkin. – M., 1997.

2. Rogatkin D. A. Low -intensity laser therapy. A physicist's view on the mechanisms of action and application experience [Electronic resource] / D. A. Rogatkin. V. V. Cherny - (http://bsfp/media- security.ru bsff2/bb05bn5/htm).

УДК 548.55, 539.1.074
ГРНТИ 29.19.31
ВАК 1.3.8

Исследование твердых растворов галогенидов таллия и серебра для детекторов гамма-излучения

[1] Львов А.Е., [1*] Жукова Л. В., [1]Ф.М. Кучеренко, [1]Н.А. Караванский,

[1] Уральский Федеральный Университет, 620062, Россия,г. Екатеринбург, ул. Мира 19
email: [*] l.v.zhukova@urfu.ru

Разработка новых материалов для детекторов гамма-излучения, работающих при комнатной температуре, остаётся одной из ключевых задач в области ядерной физики, медицинской визуализации и радиационного контроля. Среди перспективных кандидатов выделяются галогениды одновалентного таллия, в частности TlBr, обладающий высоким атомным номером и широкой запрещённой зоной [1]. Однако практическое применение TlBr ограничено серьёзной поляризацией кристаллов, вызванной миграцией ионов Tl^+ под действием внешнего электрического поля, что приводит к дрейфу рабочих характеристик и снижению времени наработки детектора [2].

Особый интерес представляет твёрдый раствор $TlBr_{0,46}I_{0,54}$ [3], который занимает уникальное положение на фазовой диаграмме (точка минимума, обеспечивающая оптимальную структурную однородность при выращивании). Однако его детекторные свойства изучены фрагментарно, а данные о подвижности носителей ограничены единичными измерениями на кристаллах невысокой чистоты. Более высокий атомный номер за счёт введения иода создаёт теоретическую предпосылку для повышения эффективности поглощения γ-квантов, но одновременно требует решения проблемы поляризации.

Перспективным путём подавления ионного переноса является формирование гетерогенных систем на основе $TlBr_{0,46}I_{0,54}$ с добавлением галогенидов серебра (AgBr, AgCl). Такие композиты не являются идеальными твёрдыми растворами; при определённых концентрациях в них возникают двухфазные структуры (кубическая фаза Fm3m и ромбическая R-3). Межфазные границы могут играть двоякую роль: выступать как ловушки для носителей заряда (ухудшая сбор) или как барьеры для ионного транспорта (подавляя поляризацию). Поэтому систематическое исследование взаимосвязи состава, структуры, характера обработки поверхности и электрофизических свойств таких материалов является необходимым шагом для создания стабильных комнатно-температурных детекторов нового поколения.

В настоящей работе впервые проведено комплексное исследование твердых растворов системы $TlBr_{0,46}I_{0,54}$ – AgHal (Hal = Br, Cl) в широком диапазоне концентраций, включая синтез, выращивание монокристаллов и поликристаллов, отработку режимов химико-механической обработки поверхности, характеризацию фазового и элементного состава, оптических свойств и разработку специализированной электронной схемы регистрации сигналов.

Методом Бриджмена выращена серия монокристаллических и поликристаллических образцов $TlBr_{0,46}I_{0,54}$, а также композитов с AgBr (30, 40, 85, 95 мас. % TlBr0,46I0,54) и AgCl (50, 91, 94, 97 мас. %). По данным рентгеновской дифракции установлено, что образцы с высоким содержанием TlBr0,46I0,54 (>85 мас. %) являются однофазными (структура типа Pm3m), тогда как при снижении содержания до 30–50 мас. % фиксируется двухфазное состояние (Pm3m + R-3). Энергодисперсионный анализ подтвердил гомогенность распределения элементов в пределах методической погрешности и позволил уточнить реальный состав. Сформированы омические контакты металл–кристалл–металл; измеренное поверхностное сопротивление (5–7 Ом/□) указывает на отсутствие значительных барьерных эффектов на границе.

При облучении полученных образцов диодами с различными длинами волн импульсным светом с длинами волн от 532 нм (зелёный) до 650 нм (красный), соответствующими краю собственного поглощения, зарегистрирован фотоотклик. Показано, что сигналы, регистрируемые при оптическом возбуждении, имеют длительность фронта единицы микросекунд, что близко к временным характеристикам импульсов от γ-квантов. Это позволяет использовать предложенный метод без источника радиоактивного излучения для первичной оценки пригодности новых составов к детектированию ионизирующих излучений на этапе поискового эксперимента.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-72-00096, https://rscf.ru/project/25-72-00096/.

Список литературы

1. Kargar A. Thallium bromide devices for gamma-ray spectroscopy / Kargar A., Lee J. A., James R. B. et al // Nucl. Instrum. Meth. A. – 2023. – Vol. 1051. – P. 168237.

2. Kim H. Performance of TlBr gamma-ray detectors with various electrode designs / Kim H., Cirignano L., Ko S. et al // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2021. – Vol. 68. – No. 12. – P. 2725–2730.

3. Route R. K. Structure and optical properties of the solid solution $TlBr_{0.46}I_{0.54}$ / Route R. K., Ward M. G., Feigelson R. S. et al // Phys. Rev. B. – 1984. – Vol. 29. – No. 6. – P. 3500–3507.

Investigation of solid solutions based on thallium and silver halides for gamma-ray detectors

[1] Lvov A.E., [1*] Zhukova L.V., [1]F.M. Kucherenko, [1]N.A. Karavansky,

[1] Ural Federal University, 620062, Russia, Yekaterinburg, 19 Mira Street

email: [*] l.v.zhukova@urfu.ru

The development of new materials for room-temperature gamma-ray detectors remains one of the key challenges in nuclear physics, medical imaging, and radiation monitoring. Among promising candidates, thallium monohalides, particularly TlBr, stand out due to their high atomic number and wide bandgap [1]. However, the practical application of TlBr is severely limited by significant crystal polarization caused by the migration of Tl^+ ions under an external electric field, which leads to a drift of operating characteristics and a reduction in detector lifetime [2].

Of particular interest is the solid solution $TlBr_{0.46}I_{0.54}$ [3], which occupies a unique position on the phase diagram (a minimum point that ensures optimal structural homogeneity during growth). However, its detector properties have been studied only fragmentarily, and data on carrier mobility are limited to a few measurements on crystals of low purity. The higher atomic number due to iodine incorporation provides a theoretical basis for enhanced gamma-ray absorption efficiency but simultaneously requires addressing the polarization issue.

A promising approach to suppressing ionic transport is the formation of heterogeneous systems based on $TlBr_{0.46}I_{0.54}$ with the addition of silver halides (AgBr, AgCl). Such composites are not ideal solid solutions; at certain concentrations, two-phase structures (cubic Fm3m and rhombohedral R-3 phases) emerge. Interphase boundaries can play a dual role: they may act as traps for charge carriers (degrading charge collection) or as barriers for ionic transport (suppressing polarization). Therefore, a systematic investigation of the relationships among composition, structure, surface treatment, and electrophysical properties of such materials is a necessary step toward the development of stable next-generation room-temperature detectors.

In the present work, a comprehensive study of solid solutions in the $TlBr_{0.46}I_{0.54}$ – AgHal (Hal = Br, Cl) system over a wide concentration range has been conducted for the first time, including synthesis, growth of single crystals and polycrystals, optimization of chemical–mechanical surface treatment, characterization of phase and elemental composition, optical properties, and the development of a specialized signal readout electronic circuit.

A series of single-crystal and polycrystalline samples of $TlBr_{0.46}I_{0.54}$, as well as composites with AgBr (30, 40, 85, 95 wt.% $TlBr_{0.46}I_{0.54}$) and AgCl (50, 91, 94, 97 wt.%), were grown by the Bridgman method. X-ray diffraction analysis revealed that samples with a high $TlBr_{0.46}I_{0.54}$ content (>85 wt.%) are single-phase (Pm3m-type structure), whereas at concentrations of 30–50 wt.%, a two-phase state (Pm3m + R-3) is observed. Energy-dispersive X-ray spectroscopy confirmed the homogeneity of elemental distribution within the experimental uncertainty and allowed the actual composition to be refined. Metal–crystal–metal ohmic contacts were formed; the measured sheet resistance (5–7 Ω/□) indicates the absence of significant barrier effects at the interface.

Upon illumination of the obtained samples with pulsed light from diodes at wavelengths ranging from 532 nm (green) to 650 nm (red), corresponding to the fundamental absorption edge, a photoresponse was recorded. It was shown that the signals detected under optical excitation exhibit rise times on the order of a few microseconds, which is close to the temporal characteristics of gamma-ray pulses. This allows the proposed method, which does not require a radioactive source, to be used for the preliminary assessment of the suitability of new compositions for ionizing radiation detection at the exploratory stage.

The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 25-72-00096, https://rscf.ru/project/25-72-00096/.

References

1. Kargar A. Thallium bromide devices for gamma-ray spectroscopy / Kargar A., Lee J. A., James R. B. et al // Nucl. Instrum. Meth. A. – 2023. – Vol. 1051. – P. 168237.

2. Kim H. Performance of TlBr gamma-ray detectors with various electrode designs / Kim H., Cirignano L., Ko S. et al // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2021. – Vol. 68. – No. 12. – P. 2725–2730.

3. Route R. K. Structure and optical properties of the solid solution $TlBr_{0.46}I_{0.54}$ / Route R. K., Ward M. G., Feigelson R. S. et al // Phys. Rev. B. – 1984. – Vol. 29. – No. 6. – P. 3500–3507.

УДК 550.42:552.5
ГРНТИ 38.33.00
Специальность ВАК: 1.6.4

Многомерный статистический анализ содержания ряда химических элементов в мергелях Черноморского побережья России

Матасова И.Ю.

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353918, Россия, г. Новороссийск, проспект Ленина, 93

email: semigorie@mail.ru

Верхнемеловые карбонатно-терригенные толщи Черноморского побережья России представляют собой сложный объект флишевого типа, геохимический спектр которого формировался в условиях активной тектонической деятельности [1]. Цель исследования – многомерный статистический анализ результатов спектрального анализа проб мергелей, отобранных в ходе комплексного ландшафтно-геохимического исследования [2], в которых исследовалось содержание 23 химических элементов. Перед обработкой выполнена нормализация признаков методом Z-преобразования. В соответствии с методологическими принципами многомерного анализа геохимических данных [3,4] применены методы многомерного статистического анализа, в том числе корреляционный анализ Пирсона, факторный анализ (PCA с Варимакс-вращением), иерархическая кластеризация (метод Уорда) и однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA).

Построение диаграмм размаха («ящиков с усами») позволило дифференцировать типы геохимического поведения металлов [4]. Выявлено стабильное симметричное распределение Cu (медиана 4,0 мг/кг), указывающее на возможную связь металла с глинистой фракцией. Для Zn и Ba зафиксирована резкая правосторонняя асимметрия с аномальными выбросами, свидетельствующая об очаговом накоплении этих элементов.

На основе матрицы нагрузок и итоговой вертикальной дендрограммы выделены две дискретные ассоциации элементов (суммарная описываемая дисперсия – 56,4%), укладывающиеся в классические модели редукции признаковых пространств [5]:

- Фактор 1 (терригенный, нагрузки для Cr 0,28, Ge – 0,27, Co – 0,26) может быть связан с интенсивным размывом суши и поступлением тонкодисперсного глинистого материала в акваторию осадконакопления в период формирования изучаемых мергелей [1].

- Фактор 2 (сульфидно-сорбционный, нагрузки для Mo 0,29, Ag – 0,28, Pb – 0,24) может быть обусловлен концентрацией указанной группы металлов на геохимических барьерах в застойных придонных условиях выраженного сероводородного заражения древнего бассейна.

Таким образом статистическая обработка данных позволяет выявить двойственную природу мергелей Черноморского побережья России. Базовый геохимический каркас пород жестко контролируется содержанием глинистой составляющей, в то время как локальные аномалии халькофилов определяются очаговыми участками их осаждения на геохимических барьерах.

Список литературы

1. Яковишин С. Ю. и др. Условия формирования отложений Северо-Западного Кавказа на рубеже юры и мела // Вестник МГУ. Сер. 4: Геология. – 2021. – № 4. – С. 12-21.

2. Матасова, И. Ю. Особенности распространения ряда химических элементов в горных породах Черноморского побережья России // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. Том Выпуск 11. – Краснодар : Краснодарское региональное отделение Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество», 2021. – С. 201-206. – EDN CKPQDF.

3. Китаев Н. А. Многомерный анализ геохимических полей. – Новосибирск: Наука, 1990.

4. Altay O. Geochemical, REE and Multivariate Statistical Constraints on Mineralization // Minerals. – 2026. – Vol. 16, No. 7. – P. 687.

5. Белонин М. Д., Голубева В. А., Скублов Г. Т. Факторный анализ в геологии. – М.: Недра, 1982. – 269 с.

Multivariate statistical analysis of the content of a number of chemical elements in marls of the Black Sea coast of Russia

I.Y. Matasova

Admiral Ushakov Maritime State University, 93 Lenina Avenue, Novorossiysk, 353918, Russia
e-mail: semigorie@mail.ru

The Upper Cretaceous carbonate-terrigenous sequences of the Russian Black Sea coast represent a complex flysch-type system, the geochemical spectrum of which was formed under active tectonic settings [1]. The objective of this study is to perform a multivariate statistical analysis of spectral data from marl samples collected during a comprehensive landscape-geochemical survey, which evaluated the concentrations of 23 chemical elements [2]. Prior to data processing, feature normalization was conducted using the Z-score transformation technique. In accordance with the methodological principles of multivariate geochemical data analysis [3,4], a suite of multivariate statistical methods was applied, including Pearson correlation analysis, factor analysis (PCA with Varimax rotation), hierarchical cluster analysis (Ward's method), and one-way analysis of variance (ANOVA).

The construction of box-and-whisker plots enabled the differentiation of distinct geochemical behavior types among the metals [4]. A stable, symmetrical distribution was revealed for Cu (median 4.0 mg/kg), indicating a potential association of this metal with the clay fraction. In contrast, Zn and Ba exhibited a pronounced right-skewed asymmetry with anomalous outliers, suggesting localized focal accumulation of these elements.

Based on the factor loading matrix and the resulting vertical dendrogram, two discrete elemental associations were identified (explaining 56.4% of the total cumulative variance), which align with classical feature reduction models [5]:

Factor 1 (terrigenous; loadings: Cr – 0.28, Ge – 0.27, Co – 0.26) can be attributed to intensive subaerial erosion and the influx of fine-grained argillaceous material into the depositional basin during the formation of the studied marls [1].

Factor 2 (sulfide-sorption; loadings: Mo – 0.29, Ag – 0.28, Pb – 0.24) can be explained by the concentration of this group of metals at geochemical barriers under stagnant bottom-water conditions characterized by pronounced hydrogen sulfide euxinia in the ancient basin.

In conclusion, statistical data processing highlights the dual geochemical nature of the marls along the Russian Black Sea coast. The baseline geochemical framework of these rocks is strictly controlled by the clay content, whereas localized chalcophile anomalies are governed by focal zones of precipitation at geochemical barriers.

References

1. Yakovishin S. Yu. et al, «Conditions of sediment formation in the Northwest Caucasus at the Jurassic-Cretaceous boundary», Bulletin of Moscow State University. Ser. 4: Geology. - 2021. - No. 4. - Pp. 12-21.

2. I. Yu Matasova, «Features of the distribution of some chemical elements in rocks of the Black Sea coast of Russia» Bulletin of the Krasnodar Regional Branch of the Russian Geographical Society. Volume Issue 11, Krasnodar: Krasnodar Regional Branch of the All-Russian Public Organization «Russian Geographical Society», 2021. - Pp. 201-206. - EDN CKPQDF.

3. N. A. Kitaev, «Multivariate Analysis of Geochemical Fields», Novosibirsk: Nauka, 1990.

4. O. Altay, «Geochemical, REE and Multivariate Statistical Constraints on Mineralization», Minerals. – 2026. – Vol. 16, No. 7. – P. 687.

5. M.D. Belonin, V.A. Golubeva, G.T. Skublov, «Factor analysis in geology», Nedra, 1982. – 269 p.

УДК 004.4'2:616.714-001-003.215-073.584-71
ГРНТИ 76.13.15
ВАК 2.2.12

Разработка блока ИК излучателей и приемников для устройства экспресс диагностики гематом

[1*] Мауль А. И., [1] Торгаев С. Н.

[1] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т. Ленина 30

email: [*]maulann@yandex.ru, torgaev@tpu.ru

Перспективным методом диагностики внутричерепных гематом в полевых условиях является ближняя инфракрасная спектроскопия. Новейшие разработки канадских специалистов уже позволяют построить изображение распределения крови гематомы в проекции на поверхность головы [1]. Мы предполагаем возможность создания устройства, определяющего положение, глубину залегания и размер гематомы на базе метода БИК спектроскопии. Для изучения возможностей метода и разработки алгоритмов построения изображений гематом внутри фантома по сигналам лазера, дошедшим до приемника после многократного рассеяния в слоях головы, был разработан экспериментальный стенд, который включает в себя систему из ИК лазеров и приемников излучения [2].

Для управления лазером предлагается использовать схему источника тока на биполярном pnp-транзисторе. Реализована возможность регулирования тока лазера программно, для этого опорное напряжение источника тока задается десятиразрядным ЦАП. ЦАП подключается к микроконтроллеру, а микроконтроллер к компьютеру.

а) б)

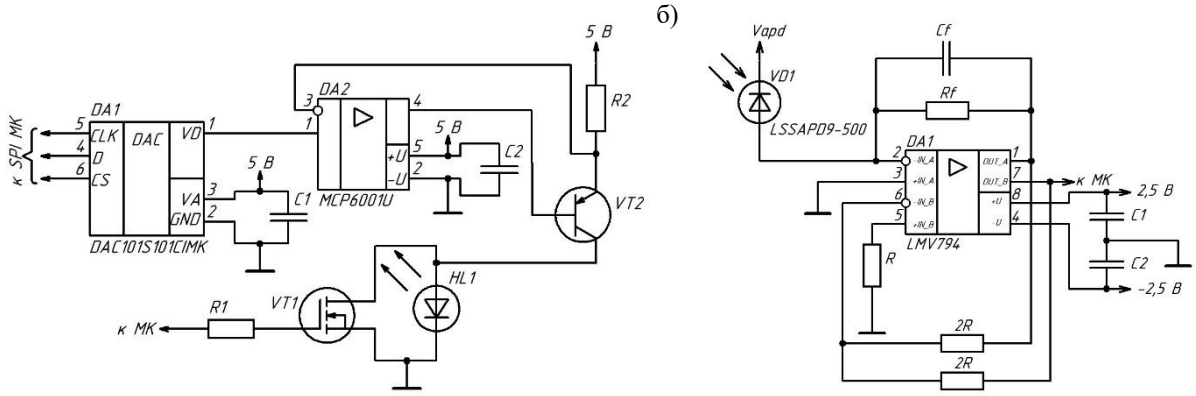


Рис. 1. Схемы: а – включения лазера, б – приемника излучения

Схема приемника излучения на лавинном фотодиоде включает трансимпедансный усилитель и последующий инвертор [3]. Введение фотодиода в режим больших коэффициентов усиления осуществляется изменением напряжения смещения от 12 до 56 В. Напряжение смещения обеспечивает повышающий Луо-преобразователь, который управляется программно изменением коэффициента заполнения ШИМ-сигнала [4].

Система позволяет регистрировать маломощный импульсный сигнал лазера после его многократного рассеяния, в том числе в обратном направлении, и поглощения в крови гематомы, при ее наличии.

Работа была проверена с использованием рассеивающей среды организма человека с травмой одной из стоп. Источник и приемник были закреплены так, что оси чувствительных элементов находились на расстоянии 1,5 см друг от друга, элементы плотно прижаты к поверхности кожи. Напряжение смещения лавинного фотодиода было задано 2,5 В, амплитуда тока источника 200 мА. На рис. 2 и 3 представлен сигнал на выходе приемника излучения при расположении системы над двумя разными гематомами.

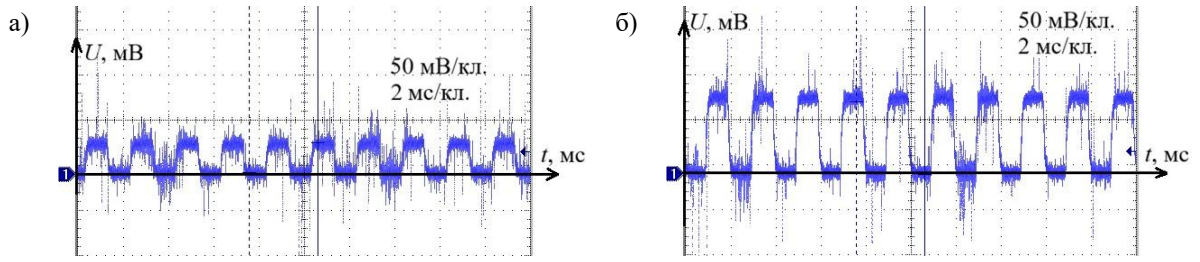


Рис. 2. Сигналы приемника излучения при расположении на внутренней поверхности стопы: а – амплитуда сигнала 40 мВ на травмированной ноге, б – 80 мВ на здоровой ноге

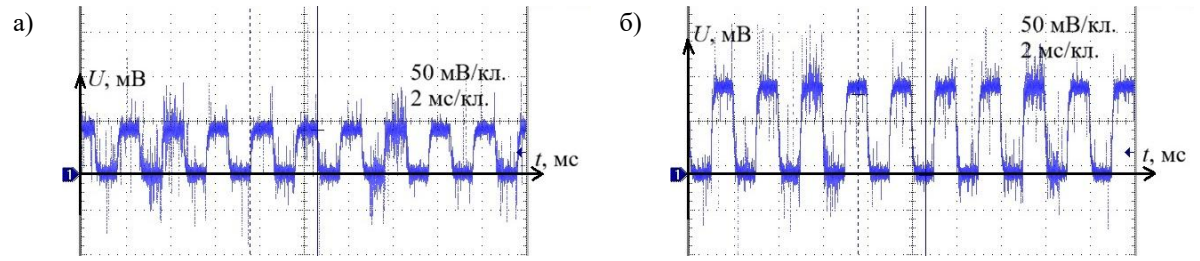


Рис. 3. Сигналы приемника излучения при расположении в области плюсны: а – амплитуда сигнала 48 мВ на травмированной ноге, б – 95 мВ на здоровой ноге

Результат эксперимента показал действительную возможность регистрации импульсного лазерного излучения после его затухания в рассеивающей среде, причем в случае травмированных тканей с гематомами амплитуда сигнала на выходе приемника излучения меньше.

Планируются эксперименты по определению зависимости амплитуды сигналов приемников от расположения и размера гематомы для заданного расположения нескольких пар лазеров и приемников. Измерительная система в дальнейшем будет использоваться внутри устройства диагностики гематом мозга, включая определение положения, глубины залегания, и размера гематомы.

Список литературы

1. D’Amario S. A handheld near infrared scanner for the detection of acute traumatic intracranial hemorrhage / D’Amario S., Bougadis J., Coverdale N. S., Hoffman B., Nashed J. Y. // Scientific Reports. – 2026. – Vol. 16, No. 12330. – URL: https://doi.org/10.1038/s41598-026-38268-2.

2. Звягинцева Д. О. Разработка экспериментального стенда для исследования оптического метода экспресс диагностики внутричерепных гематом / Звягинцева Д. О., Мауль А. И., Алексеев Н. О., Торгаев С. Н. // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы : сб. тр. XXXVII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., Рязань, 4-6 дек. 2024 г. / под общ. ред. В. И. Жулева. – 2024. – С. 13-16. – URL: https://rsreu.ru/vuz/nauka/conferences/biomedsistemy/trudy-konferentsii.

3. Вестерман Д. Применение трансимпедансных усилителей / Вестерман Д. // Электронные компоненты. – 2007. – № 3.– С. 53–55. – URL: https://russianelectronics.ru/files/48089/EK2008_03_053-55.pdf.

4. Siddharthan N. Performance evaluation of SEPIC, Luo and ZETA converter / Siddharthan N., Balasubramanian B. // International Journal of Power Electronics and Drive System. – 2019. – Vol. 10, No. 1. – P. 374–380. – URL: https://doi.org/10.11591/ijpeds.v10.i1.pp374-380.

УДК 004.89
ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37
ВАК 2.2.12

Комплексирование изображений в интеллектуальных системах оценки риска заболеваний легких

Меренов С.Б.

Юго-Западный государственный университет, 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94
email: ShatOlg@mail.ru

В последнее время использование методов биоимпедансного анализа для диагностики заболеваний легких стало новым направлением, поскольку было найдено больше доказательств того, что патологические образования имеют значительно отличающийся импеданс от нормальных тканей [1, 2]. Однако низкое разрешение, обусловленное ограниченным количеством электродов в электродном поясе и сложно прогнозируемые траектории тока в биообъекте сдерживают практическое использование этого метода.

Для биоимпедансной визуализации импеданса грудной клетки было предложено решить прямую и обратную задачи. В результате решения обратной задачи получаем вектор дескрипторов, который является входным вектором для классификатора медицинского риска [1].

Вектор дескрипторов преобразуется в матрицу размером $N \times N$, размер которой определяется числом отведений, которые могут быть реализованы посредством электродного пояса. Эти отведения определяют число элементов в эквивалентном многополюснике, из которых, в свою очередь, формируется матрица изображения.

Для формирования полноценного изображения эту матрицу необходимо интерполировать. Учитывая, что измерения в каждом отведении дают интегральную картину импеданса в биообъекте, на интерполяцию необходимо наложить ограничения, предусматривающие отсутствие изменения в интегральном импедансе в ветвях эквивалентного многополюсника [3].

Интерполяция импеданса в ветвях предусматривает равномерное размытие интегрального сопротивления в ветвях эквивалентного многополюсника. Картину дифференциального распределения сопротивления можно учесть, используя анатомическую картину сечения грудной клетки, а также данные о предполагаемой дислокации патологии. Эти данные могут быть получены из другого интроскопического изображения, например, полученного методом компьютерной томографии.

Таким образом, получаем комплексированное изображение, классификацию которого осуществляем с помощью сверточной нейронной сети (CNN). Для обучения CNN используем биоимпедансные данные, полученные посредством специально разработанного фантома. Для совмещения их КТ- изображениями в фантоме использовалась координатная сетка, выполненная в полярных координатах. Программное обеспечение включает ряд интерфейсных окон, предназначенных для настройки и отображения измеряемых параметров в графической форме [3].

Показатели качества классификации, полученные на репрезентативной выборке по классам «пневмония» - «нет пневмонии» лежали в пределах от 70% до 83% по разным метрикам и на разных контрольных выборках.

Таким образом, полученные результаты позволяют создавать системы поддержки принятия клинических решений по прогнозированию и диагностике заболеваний легких, основанные на комплексировании данных и моделях глубокого обучения.

Список литературы

1. Мультимодальный классификатор медицинского риска на основе многоэлектродного биоимпедансного преобразователя / А.В. Серебровский, Н.А. Корсунский, А.В. Лях, В.Н. Мишустин, О.В. Шаталова, Л.В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 121–143.

2. Модели импеданса биоматериала для формирования дескрипторов в интеллектуальных системах диагностики инфекционных заболеваний / А.В. Мирошников, Н.С. Стадниченко, О.В. Шаталова, С.А. Филист // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. - 2020. – Т.8, № 4. – С. 1-14.

3. Лях, А.В. Модели биоимпедансного картирования на основе эквивалентных многополюсников в системах интеллектуальной поддержки заболеваний легких / А.В. Лях, С.А. Филист, О.В. Шаталова, И.А. Башмакова, Л.В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2025. – Т. 15, № 4. – С. 211-234. – DOI: 10.21869/2223-1536-2025-15-4-211-234.

Image Integration in Intelligent Systems for Lung Disease Risk Assessment

Merenov S.B.

Southwest State University, 305040, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94
email: ShatOlg@mail.ru

Recently, the use of bioimpedance analysis methods for diagnosing lung diseases has become a new area of research, as increasing evidence has been found that pathological lesions have significantly different impedance than normal tissue [1, 2]. However, low resolution due to the limited number of electrodes in the electrode belt and the difficult-to-predict current trajectories in the bio-object hinder the practical application of this method.

For bioimpedance imaging of chest wall impedance, it was proposed to solve a direct and inverse problem. Solving the inverse problem yields a vector of descriptors, which serves as the input vector for a medical risk classifier [1].

The descriptor vector is transformed into an N×N matrix, the size of which is determined by the number of leads that can be implemented using the electrode belt. These leads determine the number of elements in the equivalent multiport, which in turn form the image matrix.

To form a complete image, this matrix must be interpolated. Given that measurements in each lead provide an integrated picture of the impedance in the biological object, interpolation must be constrained to ensure no change in the integrated impedance in the branches of the equivalent multiport [3].

Impedance interpolation in the branches ensures uniform blurring of the integrated resistance in the branches of the equivalent multiport. The differential impedance distribution can be taken into account using an anatomical cross-section of the chest, as well as data on the suspected location of the pathology. This data can be obtained from another introscopic image, such as one obtained by computed tomography.

This results in a composite image, which is classified using a convolutional neural network (CNN). To train the CNN, we use bioimpedance data obtained using a specially designed phantom. To align them with the CT images in the phantom, a coordinate grid created in polar coordinates was used. The software includes a series of interface windows designed for customizing and displaying measured parameters in graphical form [3].

Classification quality indicators obtained on a representative sample for the "pneumonia" and "no pneumonia" classes ranged from 70% to 83% across various metrics and control samples.

Thus, the obtained results enable the creation of clinical decision support systems for the prognosis and diagnosis of lung diseases based on data integration and deep learning models.

References

1. Multimodal medical risk classifier based on a multi-electrode bioimpedance transducer / A.V. Serebrovsky, N.A. Korsunsky, A.V. Lyakh, V.N. Mishustin, O.V. Shatalova, L.V. Shulga // Bulletin of the South-West State University. Series: Control, computing, informatics. Medical instrument making. - 2024. - Vol. 14, No. 3. - P. 121-143.

2. Biomaterial impedance models for generating descriptors in intelligent systems for diagnosing infectious diseases / A.V. Miroshnikov, N.S. Stadnichenko, O.V. Shatalova, S.A. Filist // Modeling, optimization and information technology. - 2020. - Vol. 8, No. 4. - P. 1-14.

3. Lyakh, A.V. Bioimpedance mapping models based on equivalent multipoles in intelligent lung disease support systems / A.V. Lyakh, S.A. Filist, O.V. Shatalova, I.A. Bashmakova, L.V. Shulga // Bulletin of the South-West State University. Series: Control, computing, informatics. Medical instrument making. - 2025. - Vol. 15, No. 4. - P. 211-234. - DOI: 10.21869/2223-1536-2025-15-4-211-234.

УДК 544.18+615.461
ГРНТИ 31.15.15
ВАК 1.4.4.

Моделирование кластеров TiO_2 и биосовместимые свойства покрытий имплантатов

[1*]Михайлов Г.П., [2]Воронова Ю.Г.

[1]Уфимский университет науки и технологий, 450008, Россия, г. Уфа, ул. Карла Маркса 12
[2]Уфимский государственный нефтяной технический университет,450064, Россия, Уфа, ул. Космонавтов 1
e-mail: gpmikhailov@mail.ru

Модификация поверхности медицинских имплантатов путём нанесения покрытий на основе диоксида титана (TiO_2) – эффективный способ повышения их биосовместимости и антибактериальных свойств. Методы лазерного синтеза позволяют формировать аморфную поверхность имплантата за счёт генерации кластеров TiO_2 в процессе абляции мишени. Кластеры TiO_2 размером 1–2 нм адекватно воспроизводят распределение длин связей и координационных чисел атомов титана и кислорода, что обосновывает их применение для моделирования структурных фрагментов поверхности аморфной плёнки.

В докладе обсуждается взаимосвязь между квантово-химическими расчетами кластеров TiO_2 в рамках теории функционала плотности (DFT) [1,2] и биосовместимыми свойствами формируемых на их основе медицинских покрытий. DFT-расчеты показывают существование устойчивых гидратных структур состава $[(TiO_2)_{10}(H_2O)_m]$(m=1-9), стабилизированных за счет прямого координационного взаимодействия атомов титана с кислородом молекул воды [1]. Наличие гидратного слоя на поверхности TiO_2 повышает термодинамическую стабильность имплантата и предотвращает его биодеградацию. Остеоинтеграция запускается при хемосорбции акваионов кальция из биожидкостей. Показано, что прочность контакта акваиона кальция на кластере $(TiO_2)_{10}$ определяется составом обеих гидратных оболочек. Модификация структуры кластера $(TiO_2)_{15}$ путем допирования азотом индуцирует появление внутризонных уровней, что сужает запрещенную зону и смещает фотокаталитическую активность в видимый диапазон, что способствует генерации активных форм кислорода и предотвращает формирование бактериальных биопленок на имплантате [2].

Список литературы

1. Михайлов, Г.П. Механизм связи нанокластера гидратированного диоксида титана с акваионом кальция /Г.П. Михайлов // Журн. физ. химии. – 2024. – Т. 98, № 3. – С. 108–114.

2. Михайлов, Г.П. Расчет электронного спектра поглощения нанокластера (TiO2)15, допированного атомом азота /Г.П. Михайлов // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2024. – № 16. – С. 510–516.

Modeling of TiO_2 Clusters and Biocompatible Properties of Implant Coatings

[1*]Mikhailov G.P., [2]Voronova Yu.G.

[1]Ufa University of Science and Technology, 450008, Russia, Ufa, Karl Marks str. 12
[2]Ufa State Petroleum Technological University, 450064, Russia, Ufa, Kosmonavtov str. 1
*e-mail: *gpmikhailov@mail.ru*

Modification of the surface of medical implants by applying coatings based on titanium dioxide (TiO_2) is an effective way to improve their biocompatibility and antibacterial properties. Laser synthesis methods allow for the formation of an amorphous surface on the implant by generating TiO_2 clusters during the ablation process. TiO_2 clusters with a size of 1-2 nm accurately reproduce the distribution of bond lengths and coordination numbers of titanium and oxygen atoms, making them suitable for modeling the structural fragments of an amorphous film surface.

The report discusses the relationship between quantum chemical calculations of TiO_2 clusters based on density functional theory (DFT) [1,3] and the biocompatible properties of medical coatings based on them. DFT calculations show the existence of stable hydrate structures of the composition $[(TiO_2)_{10}(H_2O)_m]$(m=1-9), stabilized by direct coordination interaction of titanium atoms with oxygen of water molecules [1]. The presence of a hydrate layer on the TiO_2 surface increases the thermodynamic

stability of the implant and prevents its biodegradation. Osteointegration is triggered by the chemisorption of calcium aqua ions from biological fluids. It has been shown that the strength of the calcium aqua ion's contact with the $(TiO_2)_{10}$ cluster is determined by the composition of both hydrate shells. Modification of the structure of the $(TiO_2)_{15}$ cluster by nitrogen doping induces the appearance of intraband levels, which narrows the band gap and shifts the photocatalytic activity into the visible range, which promotes the generation of reactive oxygen species and prevents the formation of bacterial biofilms on the implant [2].

References

1. Mikhailov, G.P. The mechanism of the nanocluster of hydrated titanium dioxide with calcium aquaion / G.P. Mikhailov // Zhurn. chem. phys. – 2024. – Vol. 98, No. 3. – pp. 108-114.

2. Mikhailov, G.P. Calculation of the electronic absorption spectrum of a nanocluster (TiO2)15 doped with a nitrogen atom /G.P. Mikhailov // Physico-chemical aspects of studying clusters, nanostructures and nanomaterials. – 2024. – No. 16. – pp. 510-516

УДК 629.5.06:621.43.055
ГРНТИ 73.34.01
ВАК 2.5.20

Лазерный метод контроля утечек метана из двухтопливных судовых дизельных двигателей

[1] Неустроев З. А., [1*] Туркин В. А., [1] Огурцов Д. В., [1] Краевой А. И.

[1] Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, 353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93

*email: zakharneustroev@gmail.com, *turvla@mail.ru, dmitrog555@rambler.ru, kraevoy03@mail.ru*

Судовые дизельные двигатели, работающие на сжиженном природном газе (СПГ) и дизельном топливе, широко используются в морском секторе. Несмотря на преимущества внедрения СПГ, нельзя игнорировать присущие СПГ опасные характеристики, такие как воспламеняемость, взрывоопасность и хранение при сверхнизкой температуре. Сам по себе СПГ не является взрывчатым веществом, и при правильном хранении он не будет самопроизвольно возгораться. Однако если он преобразуется в пар, то может стать взрывоопасным, особенно если он выпускается в закрытом пространстве. Для взрыва СПГ его концентрация в воздушной смеси, его «диапазон воспламеняемости», составляет от 5% до 15%. Следовательно, в условиях эксплуатации СЭУ, мониторинг утечек метана является актуальной проблемой. Для решения указанной проблемы предлагается использовать лазерную диагностику его утечек.

Целью исследования является определение минимальное время измерения концентрации метана в воздушной среде машинно-котельного отделения судна лидаром комбинационного рассеяния света для случая использования СПГ в качестве топлива для судовых дизельных двигателей.

Для обнаружения утечек основного компонента СПГ – метана, предложено использовать метод лазерного мониторинга молекул метана в атмосфере лидаром комбинационного рассеяния света. Показано, что на длине волны лазерного излучения 405 нм можно получить минимальное время измерения концентрации метана в воздушной среде рабочей зоны машинно-котельного отделения морского или речного судна лидаром комбинационного рассеяния света. На этой длине волны для измерения этой концентрации молекул метана требуется на расстоянии 10 м всего 0,8 мс, а на расстоянии зондирования 20 м – 3,2 мс. Получено, что лидарное зондирование методом комбинационного рассеяния света на расстояниях зондирования до 20 м на длине волны 405 нм дает значение минимально детектируемой концентрации молекул метана на расстоянии 10 м за время измерения 100 с – 2×10^{18} $м^{-3}$, а за время измерения 10 с – 2×10^{19} $м^{-3}$ в атмосфере.

Laser-based method for monitoring methane leaks from dual-fuel marine diesel engines

[1] Neustroev Z. A., [1*] Turkin V. A., [1] Ogurtcov D. V., [1] Kraevoy A. I.

[1] Admiral Ushakov Maritime State University, 353924, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave., 93

*email: zakharneustroev@gmail.com, *turvla@mail.ru, dmitrog555@rambler.ru, kraevoy03@mail.ru*

Marine diesel engines powered by liquefied natural gas (LNG) and diesel fuel are widely used in the maritime sector. Despite the advantages of LNG adoption, its inherent hazards, such as flammability, explosiveness, and storage at extremely low temperatures, cannot be ignored. LNG itself is not explosive, and when properly stored, it will not spontaneously ignite. However, if it converts to vapor, it can become explosive, especially if released in a confined space. To cause an explosion, LNG requires a concentration in the air mixture, its "flammability range," of 5% to 15%. Therefore, methane leak monitoring is a pressing issue in marine propulsion systems. Laser leak diagnostics are proposed as a solution to this problem. The aim of this study is to determine the minimum measurement time for methane concentration in the air of a ship's engine room using a Raman lidar for LNG used as fuel for marine diesel engines.

To detect leaks of methane, the main component of LNG, it is proposed to use laser monitoring of methane molecules in the atmosphere using a Raman lidar. It is shown that at a laser wavelength of 405 nm, the minimum measurement time for methane concentration in the air of the working area of the engine room of a sea or river vessel using a Raman lidar can be achieved. At this wavelength, measuring this methane

molecule concentration requires only 0.8 ms at a distance of 10 m, and 3.2 ms at a sensing distance of 20 m. It was found that lidar probing using the Raman scattering method at probing distances of up to 20 m at a wavelength of 405 nm gives the value of the minimum detectable concentration of methane molecules at a distance of 10 m for a measurement time of 100 s – 2×1018 m-3, and for a measurement time of 10 s – 2×1019 m-3 in the atmosphere.

УДК 681.785.5
ГРНТИ 59.35.31

Коаксиальный трёхволновый лазерный датчик обратного рассеяния с поляризационной развязкой каналов для мониторинга аэрозольных потоков

[1*] Никитин Н.И., [1] Чартий П.В., [2] Шеманин В.Г.

[1] Новороссийский политехнический институт(филиал) КубГТУ,
353900, г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20
e-mail:[*] nikitinznikita6@gmail.com
[2] Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова

Разработка бесконтактных лазерных средств диагностики аэрозольных потоков является актуальной задачей лазерной физики и оптического приборостроения. Традиционные схемы (трансмиссионные, нефелометрические) либо требуют двух оптических окон в газоходе, либо не обеспечивают пространственного разрешения по сечению потока[1, 2]. Стоимость промышленных лазерных пылемеров достигает 1.5–3 млн руб., что ограничивает их применение.

В работе предложена оригинальная коаксиальная оптическая схема датчика обратного рассеяния с поляризационной развязкой излучающего и приёмного каналов. Излучающая часть объединяет три лазерных диода (405 нм, 635 нм, 850 нм) в единый пучок посредством дихроичных зеркал. Разделение прямого и обратного хода реализовано на основе поляризационного светоделителя (PBS) и ахроматической четвертьволновой пластинки (λ/4). Линейно поляризованное излучение лазеров (горизонтальная поляризация) проходит PBS насквозь, λ/4 преобразует его в круговую поляризацию. При однократном обратном рассеянии Ми на частицах аэрозоля круговая поляризация сохраняется, после повторного прохождения λ/4 становится вертикальной и отражается PBS в приёмный канал[1]. Зеркальный блик от стенок газохода инвертирует круговую поляризацию; после λ/4 он приобретает горизонтальную поляризацию и PBS отсекается. Дополнительно блик подавляется геометрически — размещением датчика в углу сечения газохода.

В отличие от предлагаемой полезной модели устройства для контроля параметров аэрозольных потоков [5], которое измеряет среднее значение параметров потока только на фиксированной трассе, что уменьшает информативность измерений. Предлагается увеличить пространственное разрешение измерения параметров аэрозольных потоков путем сканирования заранее выбранного поперечного сечения аэрозольного потока. Пространственное сканирование осуществляется сервоприводом с зеркальцем (±40°), что обеспечивает одномерную развёртку сечения без применения время-пролётной регистрации. Отношения коэффициентов обратного рассеяния $B_back(\lambda_1)/B_back(\lambda_2)$, измеренные одновременно на трёх длинах волн, позволяют восстанавливать медианный радиус и ширину распределения частиц, не завися от их концентрации[3, 4].

Численная модель рассеяния построена на основе теории Ми (библиотека miepython). Верификация выполнена сопоставлением с аналитическими пределами (рэлеевское рассеяние, геометрическая оптика) и независимой реализацией PyMieScatt[1, 2]. Рассмотрены логнормальное, бимодальное и гамма-распределения частиц по размерам, включая модифицированное и обобщённое гамма-распределения.

Применение датчика рассматривается для мониторинга выбросов цементных производств, в частности — контроля рукавных фильтров типа ФРИП-90[4].

Список литературы

1. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. — М.: Мир, 1986. — 664 с.

2. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. — М.: ИЛ, 1961. — 536 с.

3. Архипов В.А. Модифицированный метод спектральной прозрачности измерения дисперсности аэрозолей // Оптика атмосферы и океана. — 2007. — Т. 20. — № 1. — С. 481-485.

4. Половченко С.В. Лазерное зондирование промышленных аэрозольных потоков: дис. … канд. физ.-мат. наук. — СПб.: СПбГПУ, 2015. — 147 с.

5. «Устройство для контроля параметров аэрозольных потоков» (патент на полезную модель RU 159104 U1, дата публикации — 27 января 2016 года). Е.И. Веденин, В. Г. Шеманин, П. В. Чартий.

Coaxial Three-Wavelength Laser Backscattering Sensor with Polarization-Based Channel Separation for Aerosol Flow Monitoring

[1*] Nikitin N.I., [1] Chartiy P.V., [2] Shemanin V.G.

[1] Kuban State Technological University, Novorossiysk Polytechnic Institute (branch), 353900, Russia, Novorossiysk, Karla Marksa St., 20

e-mail:[*] nikitinznikita6@gmail.com

[2] Admiral F.F. Ushakov State Maritime University

The development of non-contact laser diagnostic tools for aerosol flows is an urgent task in laser physics and optical instrument engineering. Traditional schemes (transmission, nephelometric) either require two optical windows in the gas duct or do not provide spatial resolution across the flow cross-section[1, 2]. The cost of industrial laser dust meters reaches 1.5–3 million rubles, which limits their application.

The paper proposes an original coaxial optical design of a backscattering sensor with polarization isolation of the emitting and receiving channels. The emitting part combines three laser diodes (405 nm, 635 nm, 850 nm) into a single beam using dichroic mirrors. The separation of forward and reverse paths is implemented based on a polarizing beam splitter (PBS) and an achromatic quarter-wave plate (λ/4). Linearly polarized laser radiation (horizontal polarization) passes through the PBS, and λ/4 converts it into circular polarization. Upon single backscattering of Mie on aerosol particles, circular polarization is preserved; after passing through λ/4 again, it becomes vertical and is reflected by the PBS into the receiving channel[1]. Mirror glare from the walls of the gas duct inverts the circular polarization; after λ/4, it acquires horizontal polarization, and the PBS cuts it off. Additionally, the glare is suppressed geometrically — by placing the sensor in the corner of the gas duct's cross-section.

Unlike the proposed utility model of the device for monitoring aerosol flow parameters [5], which measures the average value of the flow parameters only along a fixed path, thereby reducing the informativeness of the measurements. It is proposed to increase the spatial resolution of measuring aerosol flow parameters by scanning a pre-selected cross-section of the aerosol flow. Spatial scanning is carried out using a servo drive with a mirror (±40°), which ensures one-dimensional scanning of the section without using time-of-flight registration. The ratios of the backscattering coefficients $B_back(\lambda_1)/B_back(\lambda_2)$, measured simultaneously at three wavelengths, make it possible to reconstruct the median radius and the width of the particle distribution, independent of their concentration[3, 4].

The numerical scattering model is based on Mie theory (miepython library). Verification was carried out by comparing with analytical limits (Rayleigh scattering, geometric optics) and an independent implementation of PyMieScatt[1, 2]. Lognormal, bimodal, and gamma particle size distributions were considered, including modified and generalized gamma distributions.

The sensor is considered for use in monitoring emissions from cement production facilities, in particular, for monitoring bag filters of the FRIP-90 type[4].

References

1. Boren K., Huffman D. Absorption and Scattering of Light by Small Particles. — Moscow: Mir, 1986. — 664 p.

2. Van de Hulst H. Light Scattering by Small Particles. — Moscow: IL, 1961. — 536 p.

3. Arkhipov V.A. Modified method of spectral transparency for measuring aerosol dispersity // Atmospheric and Oceanic Optics. — 2007. — Vol. 20. — No. 1. — Pp. 481–485.

4. Polovchenko S.V. Laser probing of industrial aerosol flows: dis. … cand. phys.-math. sci. — St. Petersburg: SPbPU, 2015. — 147 p.

5. "Device for monitoring the parameters of aerosol flows" (utility model patent RU 159104 U1, publication date — January 27, 2016). E.I. Vedenin, V.G. Shemanin, P.V. Chartiy.

УДК 621.865.8-52
ГРНТИ 55.30.31
ВАК 2.5.4

Разработка и математическое моделирование 5-осевого манипулятора с гибридным планетарно-циклоидальным редуктором

[1*] Никитин Н.И., [1] Чартий П.В., [2] Шеманин В.Г.

[1] Новороссийский политехнический институт(филиал) КубГТУ,
353900, г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20
e-mail:[*] nikitinznikita6@gmail.com
[2] Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова

Роботизированные манипуляторы находят всё более широкое применение в образовательной, лабораторной и мелкосерийной производственной деятельности. Однако высокая стоимость прецизионных редукторов (волновых, циклоидальных) и систем позиционирования ограничивает их доступность[4, 2]. В настоящей работе представлен прототип 5-осевого манипулятора, ключевым элементом которого является оригинальный двухступенчатый планетарный редуктор, изготовленный методом 3D-печати из PETG с использованием стандартных стальных компонентов[3].

Манипулятор построен по модульной архитектуре: каждая ось представляет собой унифицированный мехатронный узел, включающий шаговый двигатель NEMA 17, драйвер TMC2209 (режим StealthChop2)[5] и редуктор. Основание выполнено по одноступенчатой планетарной схеме (z1=17, z2=25, z3=68, i=5.0). Плечевой и локтевой узлы — двухступенчатые: плечо (i=25) использует венец z=68, локоть (i=16) — компактный венец z=60. Сателлиты армированы подшипниками MR83ZZ и стальными штифтами 3 мм. Расчётные параметры подтверждены натурными испытаниями: плечевой узел выдерживает рабочую нагрузку 2.6 кг на плече 15 см, локтевой — 1.0 кг. Вес одного узла (редуктор + двигатель + крепёж) не превышает 411 г.

Математическая модель кинематики построена на основе формализма Денавита-Хартенберга (DH-параметры, матрицы однородного преобразования 4×4) для пятизвенной схемы с длинами звеньев L1=20 см, L2=20 см, L3=10 см[1]. Управление реализовано на базе Arduino с библиотекой AccelStepper, что обеспечивает одновременное движение нескольких осей по заданным траекториям.

Разработанный прототип может быть использован в образовательных и лабораторных целях, а также как доступная платформа для создания лазерного гравировального оборудования малой мощности. Стоимость конструкции на порядок ниже промышленных аналогов при сохранении функциональности, достаточной для задач прототипирования и мелкосерийного производства[6].

Разрабатывается децентрализованная система диагностики на основе магнитных энкодеров AS5600 и шины RS-485, позволяющая контролировать положение, температуру и вибрации каждого узла.

Список литературы

1. Фролов К.В., Воробьев Е.И. Механика промышленных роботов: Учеб. пособие для втузов. Кн. 1. Кинематика и динамика. — М.: Высш. шк., 1988. — 304 с.

2. Лопатин Б.А., Полуэктов Е.А. Циклоидальные передачи. — М.: Машиностроение, 1984. — 158 с.

3. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи: Справочник. — Л.: Машиностроение, 1977. — 536 с.

4. Волновые зубчатые передачи. Схемы, расчет и конструкции: учебное пособие / О.А. Чихачева, Ю.И. Бровкина, А.Г. Пахомова. — М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2026. — 100 с.

5. TMC2209 Datasheet [Электронный ресурс] // TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG. — Режим доступа: https://www.trinamic.com/ (дата обращения: 29.07.2026).

6. Никитин Н.И. Разработка и математическое моделирование 5-осевого манипулятора с гибридным редуктором // Молодежная наука: Сб. лучших научных работ молодых ученых. — Краснодар: КубГТУ, 2026.

Development and mathematical modeling of a 5-axis manipulator with a hybrid planetary-cycloidal gearbox

[1*] Nikitin N.I., [1] Chartiy P.V., [2] Shemanin V.G.

[1] Kuban State Technological University, Novorossiysk Polytechnic Institute (branch), 353900, Russia, Novorossiysk, Karla Marksa St., 20

e-mail:[*] nikitinznikita6@gmail.com

[2] Admiral F.F. Ushakov State Maritime University

Robotic manipulators are increasingly used in educational, laboratory and small-scale production activities. However, the high cost of precision gearboxes (harmonic, cycloidal) and positioning systems limits their availability[4, 2]. This paper presents a prototype of a 5-axis manipulator, the key element of which is an original two-stage planetary gearbox manufactured by 3D printing from PETG using standard steel components[3].

The manipulator is built according to a modular architecture: each axis is a unified mechatronic unit including a NEMA 17 stepper motor, a TMC2209 driver (StealthChop2 mode)[5] and a gearbox. The base is made according to a single-stage planetary scheme (z1=17, z2=25, z3=68, i=5.0). The shoulder and elbow units are two-stage: the shoulder (i=25) uses a z=68 ring gear, the elbow (i=16) uses a compact z=60 ring gear. The satellites are reinforced with MR83ZZ bearings and 3 mm steel pins. The calculated parameters are confirmed by full-scale tests: the shoulder unit withstands a working load of 2.6 kg on a 15 cm arm, the elbow unit — 1.0 kg. The weight of one unit (gearbox + motor + fasteners) does not exceed 411 g.

A mathematical model of kinematics is built on the basis of the Denavit-Hartenberg formalism (DH parameters, 4×4 homogeneous transformation matrices) for a five-link scheme with link lengths L1=20 cm, L2=20 cm, L3=10 cm[1]. Control is implemented on the basis of Arduino with the AccelStepper library, which ensures simultaneous movement of several axes along specified trajectories.

The developed prototype can be used for educational and laboratory purposes, as well as serving as an affordable platform for creating low-power laser engraving equipment. The cost of the design is an order of magnitude lower than that of industrial counterparts, while maintaining functionality sufficient for prototyping and small-scale production tasks[6].

A decentralized diagnostic system based on AS5600 magnetic encoders and the RS-485 bus is being developed, which allows monitoring the position, temperature and vibration of each unit.

References

1. Frolov K.V., Vorob'ev E.I. Mechanics of industrial robots: Textbook for technical colleges. Book 1. Kinematics and dynamics. — Moscow: Vysshaya shkola, 1988. — 304 p.

2. Lopatin B.A., Poluektov E.A. Cycloidal gears. — Moscow: Mashinostroenie, 1984. — 158 p.

3. Kudryavtsev V.N. Planetary gears: Handbook. — Leningrad: Mashinostroenie, 1977. — 536 p.

4. Wave gear transmissions. Schemes, calculation and designs: textbook / O.A. Chikhacheva, Yu.I. Brovkina, A.G. Pakhomova. — Moscow;

5. Vologda: Infra-Inzheneriya, 2026. — 100 p.

6. TMC2209 Datasheet [Electronic resource] // TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG. — Available at: https://www.trinamic.com/ (accessed 29.07.2026).

7. Nikitin N.I. Development and mathematical modeling of a 5-axis manipulator with a hybrid gearbox // Youth Science: Collection of the best scientific works of young scientists. — Krasnodar: KubSTU, 2026.

УДК 620.179.16:678.067
ГРНТИ 30.19.67
ВАК 2.5.9

Возможности создания цифровых двойников изделий из слоистых композитов с использованием метода контактной лазерно-ультразвуковой структуроскопии

[1] Орлов М.А., [1] Карабутов А.А., [1*] Федин М.Г.

[1] ООО «Кинетик», Москва
email: info@keenetica.ru

Повышение прочности, надёжности и назначенного ресурса изделий из композитов остаётся одной из ключевых задач машиностроения. Изделия работают в условиях циклических механических и температурных нагрузок, вибраций и агрессивных сред, поэтому оценка остаточного ресурса должна опираться не только на расчётные модели, но и на данные о фактическом состоянии материала ответственных деталей [1, 2].

Одним из существенных технологических дефектов таких материалов является пористость. Поры, межжгутовые пустоты, участки неполной пропитки и межслойные дефекты нарушают непрерывность связующего и ухудшают передачу нагрузки между элементами структуры. Часть структурных особенностей формируется при изготовлении, а часть может развиваться в эксплуатации под действием циклических нагрузок, температуры, влажности, ударных воздействий и старения связующего. Поэтому контроль композитной конструкции целесообразно рассматривать как элемент сопровождения жизненного цикла, а не только как процедуру приёмки.

В этом отношении перспективной является концепция цифрового двойника [3]. В рамках настоящей статьи цифровой двойник понимается как цифровая модель конкретного изделия, объединяющая расчётные данные, сведения о технологии изготовления, результаты неразрушающего контроля и историю эксплуатации. Для слоистого композита такая модель должна отражать фактическое состояние материала: без данных о внутренней структуре невозможно проследить её изменение и связать технологические дефекты с последующим снижением ресурса.

Ранее практическое применение такого подхода ограничивалось прежде всего диагностической частью. Разрушающие методы определения пористости дают информацию по отдельным образцам, но не могут применяться для регулярного контроля натурной конструкции. Рентгеновская компьютерная томография позволяет получить подробное описание внутренней структуры, однако ограничена стоимостью, габаритами объекта, длительностью исследования и требованиями безопасности. Классические ультразвуковые методы применимы для многих задач, но при контроле слоистых структур требуют устойчивого акустического контакта и аккуратной интерпретации сигналов [4, 5].

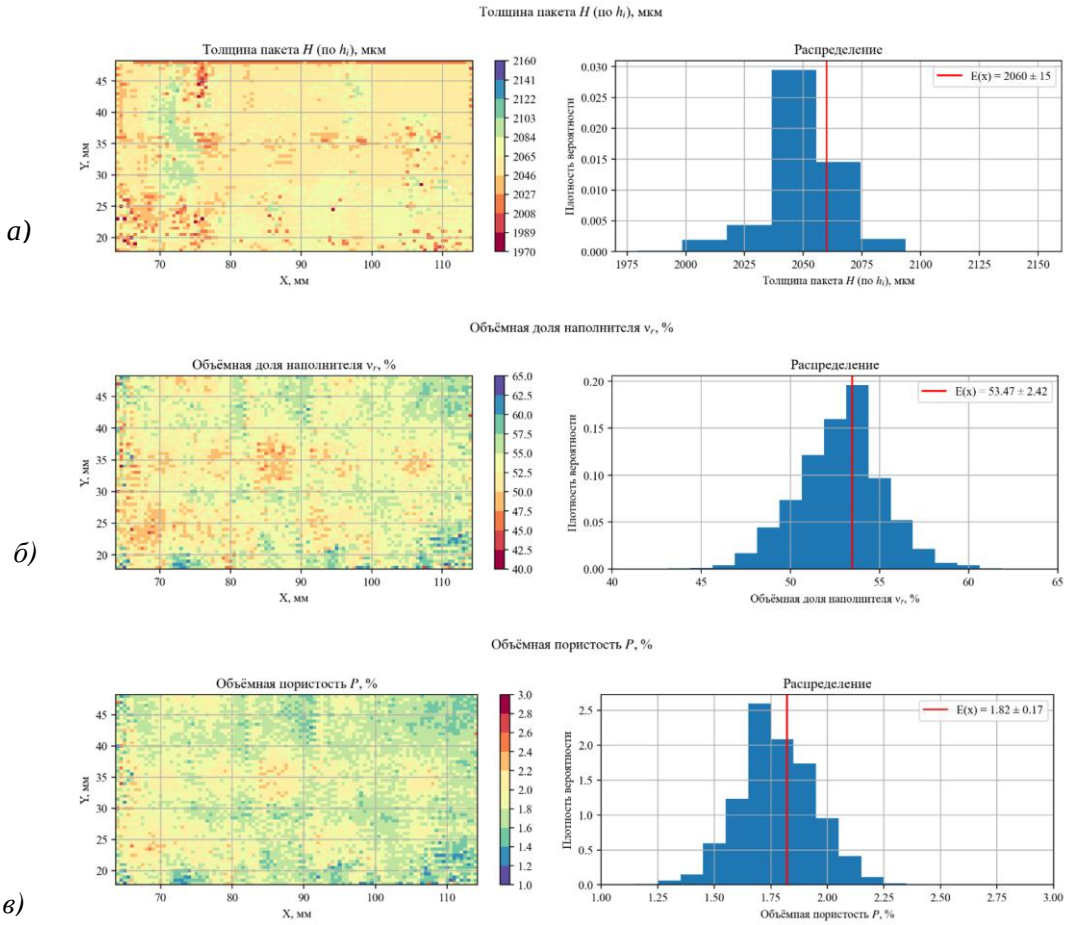
Контактная лазерно-ультразвуковая структуроскопия позволяет частично снять это ограничение. Метод основан на лазерной оптико-акустической генерации короткого зондирующего импульса и контактном приеме ультразвукового отклика. Такая схема дает возможность работать в эхо-режиме при одностороннем доступе к изделию, выделять отражения от внутренних границ и по параметрам сигнала оценивать состояние отдельных элементов слоистого пакета.

Для цифровой модели необходим метод контроля, который обеспечивает повторяемость измерений, пространственную привязку результатов и количественную интерпретацию сигналов. КЛУС удовлетворяет этим требованиям в большей степени, чем методы, ориентированные только на локальное разрушительное исследование образца или на единичное выявление дефекта. Его преимущество состоит не только в возможности регистрации состояния материала неразрушающим методом, но и в возможности использовать эти данные для описания внутренней структуры слоистого пакета.

Лазерная оптико-акустическая генерация короткого зондирующего импульса повышает информативность эхо-метода при анализе слоистой структуры. В отличие от контроля, ориентированного только на обнаружение крупного дефекта, структуроскопия должна учитывать нарушение периодичности, локальное изменение акустической толщины, неоднородность матричных областей и нестабильность межслойных отражений. В работах по лазерно-ультразвуковому контролю углепластиков показана возможность использовать такие признаки для оценки пористости и выявления нарушений периодичности структуры.

В качестве прикладного примера представлены результаты разработки методики КЛУС для панелей из многослойного углепластика сложной изогнутой формы, предназначенных для крупногабаритной ракетно-космической конструкции. Панель площадью порядка 2,5 м² состоит из нескольких секций. На этапе отработки методики исследованы контрольные образцы плоской формы и конструктивно подобные образцы сферической формы, изготовленные по технологии будущих панелей.

Контроль выполнялся в эхо-режиме при одностороннем доступе с автоматизированным сканированием и регистрацией первичных акустических треков в узлах координатной сетки. По каждой точке рассчитывались толщина пакета, объемные доли связующего, волокна и пор (рис.1).



а)

б)

в)

Рис. 1 – Карты распределения измеренных параметров композита для образца плоской формы: а) – Общая толщина пакета, б) – Объемная доля наполнителя, в) – Объемная пористость

Полученные карты могут рассматриваться как диагностический блок цифрового двойника конкретной панели или ее образца-свидетеля. Они фиксируют не номинальные, а фактические технологические неоднородности материала и задают базовый уровень для последующих обследований. Сопоставление данных КЛУС с результатами оптической микроскопии шлифов и рентгеновской томографии показало сходимость по толщинам монослоев и подтвердило возможность контроля на изделии сложной формы без разрушения.

Список литературы

1. Лебедева О.В. Полимерные композиты и их свойства / О.В. Лебедева, Е.И. Сипкина // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. № 2 (41). С. 192-207.

2. Лахно А.В. Анализ влияния пористости на свойства композиционных материалов / А.В. Лахно, Е.В. Новиков // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 1. С. 73-80.

3. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2022-01-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 15 с.

4. Подымова Н.Б. Влияние пористости на статистическое распределение амплитуд обратнорассеянных ультразвуковых импульсов в металломатричных композитах, изготовленных

методом реакционного литья / Н.Б. Подымова, А.А. Карабутов // Акустический журнал. 2021. Т. 67. № 1. С. 55-64.

5. Соколовская Ю.Г. Количественная оценка пористости однонаправленных углепластиков с использованием лазерно-ультразвукового метода / Ю.Г. Соколовская, Н.Б. Подымова, А.А. Карабутов // Дефектоскопия. 2020. № 3. С. 14-22.

Possibilities for creating digital twins of laminated composite products using the contact laser-ultrasonic structuroscopy method

[1] Orlov M.A., [1] Karabutov A.A., [1*] Fedin M.G.

[1] Kinetic LLC, Moscow

email: info@keenetica.ru

Improving the strength, reliability and design life of composite products remains one of the key challenges in mechanical engineering. These products operate under cyclic mechanical and thermal loads, vibrations and aggressive environments; therefore, the assessment of their remaining service life must be based not only on computational models but also on data regarding the actual condition of the material in critical components [1, 2].

One of the significant technological defects in such materials is porosity. Pores, voids between fibres, areas of incomplete impregnation and interlaminar defects disrupt the continuity of the matrix and impair load transfer between structural elements. Some structural features are formed during manufacture, whilst others may develop during service under the influence of cyclic loads, temperature, humidity, impact and ageing of the matrix. It is therefore advisable to regard the inspection of a composite structure as part of its life-cycle management, rather than merely as an acceptance procedure.

In this regard, the concept of a digital twin [3] holds great promise. For the purposes of this article, a digital twin is understood as a digital model of a specific product, integrating calculation data, information on manufacturing technology, the results of non-destructive testing and operational history. For a layered composite, such a model must reflect the actual condition of the material: without data on the internal structure, it is impossible to track changes in it or to link manufacturing defects to a subsequent reduction in service life.

Previously, the practical application of this approach was limited primarily to the diagnostic aspect. Destructive methods for determining porosity provide information on individual samples but cannot be used for regular monitoring of the full-scale structure. Computed tomography (CT) scanning provides a detailed description of the internal structure, but is limited by cost, the dimensions of the object, the duration of the examination and safety requirements. Conventional ultrasonic methods are applicable to many tasks, but when inspecting layered structures they require stable acoustic contact and careful interpretation of the signals [4, 5].

Contact laser-ultrasonic structuroscopy allows this limitation to be partially overcome. The method is based on the laser-optical-acoustic generation of a short probing pulse and the contact reception of the ultrasonic echo. This setup makes it possible to operate in echo mode with unilateral access to the component, to distinguish reflections from internal boundaries, and to assess the condition of individual elements within a layered assembly based on signal parameters.

A digital model requires an inspection method that ensures repeatability of measurements, spatial referencing of results and quantitative interpretation of signals. KLUS meets these requirements to a greater extent than methods focused solely on local destructive testing of the sample or on the detection of a single defect. Its advantage lies not only in the ability to record the state of the material using a non-destructive method, but also in the ability to use this data to describe the internal structure of the layered assembly.

The laser-induced optical-acoustic generation of a short probing pulse enhances the information content of the echo method when analysing a layered structure. Unlike inspection focused solely on the detection of large defects, structuroscopy must take into account disruptions in periodicity, local changes in acoustic thickness, heterogeneity in the matrix regions and instability in interlaminar reflections. Research into laser-ultrasonic testing of carbon-fibre composites has demonstrated the possibility of using such features to assess porosity and identify disruptions in structural periodicity.

As an applied example, the results of the development of a laser-ultrasonic testing (LUT) methodology for multi-layer carbon-fibre reinforced plastic panels of a complex curved shape, intended for a large-scale rocket and space structure, are presented. The panel, with an area of approximately 2.5 m²,

consists of several sections. During the method validation phase, flat test specimens and structurally similar spherical specimens, manufactured using the same technology as the future panels, were investigated.

The inspection was carried out in echo mode with single-sided access, utilising automated scanning and the recording of primary acoustic tracks at the nodes of the coordinate grid. For each point, the thickness of the composite laminate, as well as the volume fractions of the binder, fibres and voids, were calculated (Fig. 1).

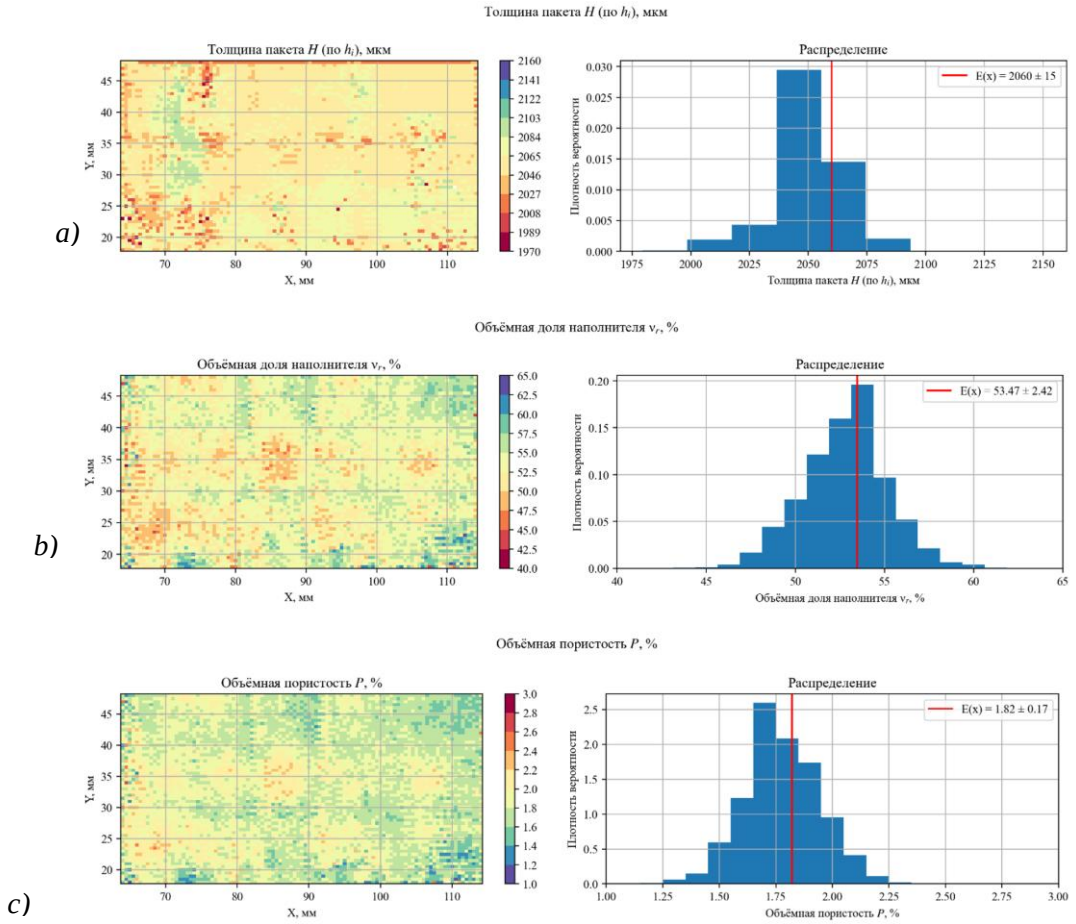


Fig. 1 – Maps showing the distribution of measured composite parameters for a flat specimen: a) – Total thickness of the composite, b) – Volume fraction of filler, c) – Volume porosity

The maps obtained can be regarded as a diagnostic component of the digital twin of a specific panel or its reference sample. They record not the nominal but the actual technological inhomogeneities of the material and establish a baseline for subsequent investigations. A comparison of KLUS data with the results of optical microscopy of polished sections and X-ray tomography showed consistency in the thicknesses of the monolayers and confirmed the possibility of non-destructive testing on complex-shaped components.

References

1. Lebedeva, O.V. Polymer composites and their properties / O.V. Lebedeva, E.I. Sipkina // University News. Applied Chemistry and Biotechnology. 2022. Vol. 12. No. 2 (41). pp. 192–207.

2. Lakhno, A.V. Analysis of the influence of porosity on the properties of composite materials / A.V. Lakhno, E.V. Novikov // International Technical and Economic Journal. 2020. No. 1. pp. 73–80.

3. GOST R 57700.37-2021. Computer models and modelling. Digital twins of products. General provisions: national standard of the Russian Federation: effective date 1 January 2022. – Moscow: Russian Institute for Standardisation, 2021. – 15 pp.

4. Podymova, N.B. The influence of porosity on the statistical distribution of the amplitudes of backscattered ultrasonic pulses in metal-matrix composites manufactured by reaction casting / N.B. Podymova, A.A. Karabutov // Acoustic Journal. 2021. Vol. 67. No. 1. pp. 55–64.

5. Sokolovskaya, Yu.G. Quantitative assessment of porosity in unidirectional carbon fibre composites using a laser-ultrasonic method / Yu.G. Sokolovskaya, N.B. Podymova, A.A. Karabutov // Defectoscopy. 2020. No. 3. pp. 14–22.

УДК 541.182.2
ГРНТИ 29.00.00
ВАК 1.3.19

Сравнение лазерного и плазмотронного способов получения оксидных нанопорошков

В.В. Осипов, В.В. Лисенков, А.В. Подкин

Институт электрофизики УрО РАН
620106, г. Екатеринбург, Россия

lisenkov@iep.uran.ru

В докладе представлено сравнительное исследование получения оксидных нанопорошков с помощью лазерного испарения и испарения в плазмотроне. Сравнение было проведено на примере порошков оксидов иттрия, алюминия и алюмо-магниевой шпинели. Диаметры наночастиц в основном находятся в диапазоне 7-20 нм для лазерного метода и 3-15 нм для плазмотронного метода. Однако, в случае плазмотронного метода основную массовую долю составляют частицы диаметром 20-100 нм, хотя их количество значительно меньше, чем количество частиц меньшего диаметра. Это объясняется более длительным нахождением наночастиц в области горячей плазмы, что в отличии от лазерного метода, способствует синтезу наночастиц в стабильной фазе.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РНФ №24-19-20074 и Правительства Свердловской области

УДК 616.5-006.39-085.849.19
ГРНТИ 29.33.15
ВАК 2.2.12

Программное обеспечение отечественных двухволновых лазерных медицинских аппаратов на парах меди для селективной фотодеструкции сосудистых, пигментных и неокрашенных дефектов кожи

[1*]Пономарев И.В., [1]Топчий С.Б., [2]Евтушенко Г.С

[1]Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991, Россия, г. Москва, пр. Ленинский 53

[2]Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, 127055, Россия, г. Москва, ул. Образцова 12, к.2

*e-mail: * luklalukla@ya.ru*

Развитие отечественного медицинского приборостроения должно быть направлено на обеспечение доступа населения нашей страны к новым, безопасным и эффективным методам немедикаментозной терапии целого ряда заболеваний кожи. Это определяет потребность в совершенствовании и расширении спектра неабляционных селективных технологий, используемых в дерматологии. Излучение лазеров на парах меди с длинами волн 511 нм и 578 нм обладает уникальными характеристиками для медицинских применений и обеспечивает максимальную селективность воздействия на сосудистые и пигментные дефекты кожи методом селективного фототермолиза. Встроенное программное обеспечение лазерного медицинского аппарата на парах меди должно обеспечивать контроль над работой аппарата и минимизировать риски для пациента.

Для решения поставленной проблемы было разработано ПО, которое обеспечивает контроль над работой лазерного аппарата на парах меди, в том числе выбор параметров процедуры лечения (длины волн, мощности и длительности экспозиции лазерного излучения) с панели управления аппарата. ПО должно регистрировать и сохранять текущие значения критических параметров, обеспечивать защиту от опасных значений выходных характеристик, протоколировать возможные сбои/ошибки для эффективного технического обслуживания. ПО должно предотвращать риск нанесения вреда пациенту в случае ошибочных действий оператора и неблагоприятных внешних факторов (прерыванию сети, контактному и бесконтактному разряду), переводить аппарат в режим ожидания с блокировкой лазерного луча в случае паузы в работе, а также защищает аппарат от повреждений, связанных с неправильными действиями оператора. Тип реализующей ЭВМ – устойчивый к отказам микроконтроллер ATmega128L 8AU, программа написана на языке С.

Разработанное ПО v.12.12.16.S для аппарата лазерного медицинского на парах меди «Яхрома-Мед» (Регистрационное удостоверение Росздравнадзора № ФСР 2008/03743) с помощью наглядного интерфейса обеспечивает индикацию рабочих параметров на 10-дюймовом тач-скрин экране высокой яркости и контраста [3,4].

На Рис.1. показана блок-схема ПО лазерного аппарата на парах меди «Яхрома-Мед», Встроенное ПО позволяет выбирать параметры воздействия (мощность, длительность экспозиции) на каждой длине волны индивидуально или работать на обеих длинах волн одновременно с помощью модуля смены длины волны. Выбирая необходимую энергетическую экспозицию (мощность и длительность цуга наносекундных импульсов), можно получить желаемый эффект разреза, иссечения, испарения, гемостаза и коагуляции[5].

При получении разрешения ThaiFDA на медицинское использование в Королевстве Таиланд в программное обеспечение лазерного медицинского аппарата на парах меди «Яхрома-Мед» была введена многоязычная поддержка пользователя.

В случае паузы в работе встроенное программное обеспечение автоматически переводит аппарат в режим ожидания, при котором выход лазерного пучка заблокирован. Цветовые решения экранных меню обеспечивают высокий контраст при использовании оператором защитных лазерных очков. Программа управления и алгоритмы работы лазерного медицинского аппарата исключают возможность нанесения вреда оператору и пациенту в случае ошибочных действий людей и неблагоприятных внешних факторов, а также защищают аппарат от повреждений. Во время работы лазерного аппарата протоколируются текущие критические параметры и возможные сбои/ошибки, что позволяет в дальнейшем проводить эффективное техническое обслуживание.

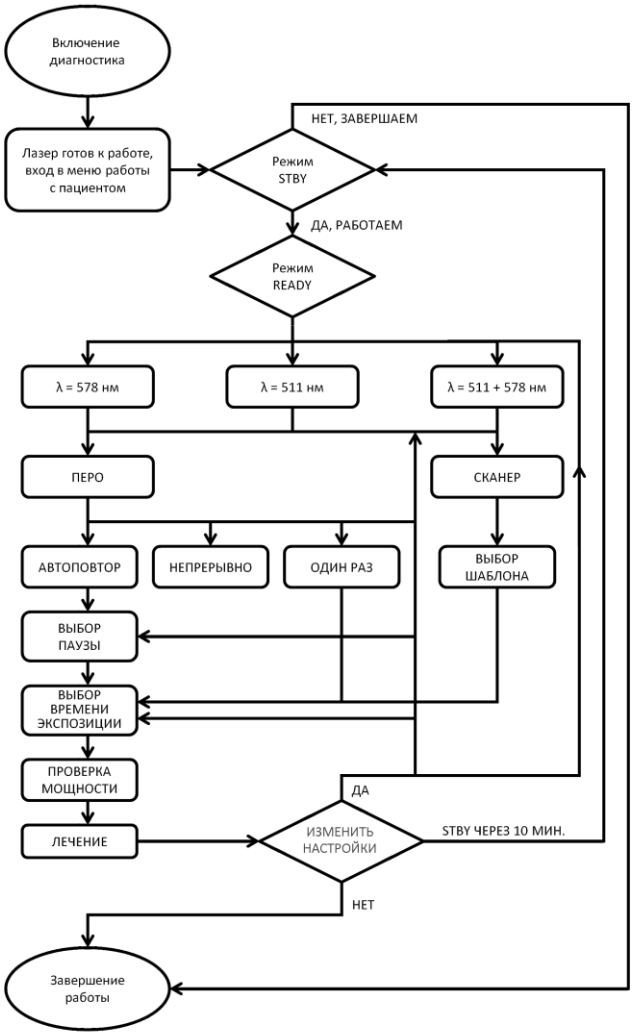


Рис. 1. Обобщённая структурно-функциональная схема ПО лазерного аппарата на парах меди «Яхрома-Мед».

На Рис.2. показано рабочее меню Аппарата лазерного на парах меди для селективной фотодеструкции сосудистых и пигментных дефектов кожи и слизистых оболочек "Яхрома – Мед". Цветовой дизайн текста и фона экранных меню был выбран с учетом необходимости работы оператора в защитных от лазерного излучения очках. Была проведена верификация и валидизация встроенного ПО собственной разработки на соответствие, проведен анализ рисков согласно ГОСТ Р МЭК 62304-2013, ГОСТ Р МЭК 62366-2013, ГОСТ Р МЭК 60601-1-6-2014.

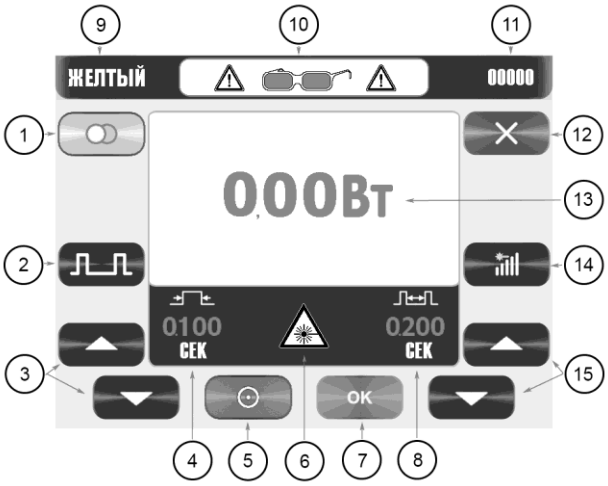


Рис. 2. Рабочее меню аппарата «Яхрома-Мед»: 1 – выбор рабочей длины волны; 2 – выбор режима облучения(одиночный/автоповтор/непрерывно/сканирование); 3 – изменение длительности периода облучения 30...950 мс; 4 –значение текущей длительности облучения; 5 – READY/STANDBY; 6 –статус состояния аппарата; 7 – подтверждение операции – измерение мощности/сброс счетчика импульсов; 8 –значение текущей паузы между импульсами 50...950 мс; 9 – выбор длины волны; 10 – рабочие сообщения; 11 – счетчик открываний затвора лазерного облучения; 12 – сброс счетчика/выход из рабочего окна; 13 –значение текущей мощности излучения на выходе рабочей насадки (пера/сканера); 14 – измерение мощности излучения на выходе рабочей насадки; 15 –изменение длительности паузы между периодами облучения 30...950 мс;

Заключение

Многолетний опыт отечественных научных исследований и опытно-конструкторских разработок обеспечил создание встроенного ПО для нового поколения двухволновых лазерных медицинских аппаратов на парах меди для селективной фотодеструкции сосудистых, пигментных и неокрашенных дефектов кожи, которые имеют существенное преимущество по сравнению с другими традиционно используемыми в дерматологии типами лазеров и обеспечивают неабляционное селективное воздействие при лечении широкого спектра заболеваний кожи.

The software of a dual-wavelength copper vapor laser medical system for selective photodestruction of vascular, pigmented, and non-pigmented skin lesions

I.V. Ponomarev, S.B. Topchiy, G.S. Evtushenko

The development of medical equipment should prioritize accessible, secure, and effective non-drug-based treatments for various skin conditions. This highlights the necessity for enhancing and broadening the application of non-ablative selective technologies in dermatology. Pulsed copper vapor lasers at 511 nm and 578 nm wavelengths display unique characteristics for dermatological applications, enabling precise selective photothermolysis for vascular and pigmented skin issues with enhanced accuracy. The software of a copper vapor laser medical system ought to offer control over its functioning and reduce hazards to the patient.

The aim of the study is to develop software for dual-wavelengths copper vapor laser medical system for selective photodestruction of vascular, pigmented and uncolored skin defects.

The developed software has been used to treat more than 50,000 patients with a dual-wavelength copper vapor laser medical systems "Yachroma-Med" for selective photodestruction of vascular, pigment and uncolored skin defects. The results of its application can be used to create a new generation of laser medical systems, allowing for personalized selection of laser parameters for the safe removal of cosmetic defects with minimal risk of recurrence.

УДК 004.932.2
ГРНТИ 50.41.25
ВАК 2.3.1

Поиск особых точек изображений методом двойного спектрального сканирования

Пономаренко Н.В.

Юго-Западный Государственный Университет, 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94
email: pnv.online@mail.ru

В задачах компьютерного зрения одной из ключевых проблем является переход от сырых данных к семантически значимому описанию сцены. Изображение, как цифровая матрица интенсивностей, содержит избыточную и зашумлённую информацию, что делает её непосредственную обработку неэффективной. Решением является выделение особых точек - локальных областей изображения, обладающих уникальными свойствами, которые сохраняют устойчивость к изменениям условий съёмки.

Однако выделение особых точек непосредственно на всём изображении сопряжено с проблемой масштаба. Кроме того, искомый объект может занимать область, не имеющую ярко выраженных угловых или градиентных особенностей. Тогда глобальный анализ изображения не позволяет точно локализовать целевую структуру. В качестве инструмента, компенсирующим указанные ограничения, можно применять методику двойного спектрального сканирования. Эта методика разбивает изображение на окна, каждые из которых анализируются независимо, подобно тому, как описано в [1]. Для каждого окна формируются свои субокна меньшего размера со сдвигом. Деление окна на субокна позволяет рассчитывать спектральные коэффициенты в субокнах и на основе характеристик изменений этих коэффициентов вычисляется набор признаков, которые затем классифицируются на наличие целевого объекта [2]. Такой подход двойного сканирования обладает рядом фундаментальных преимуществ, основными из которых являются локализация в пространстве, масштабная инвариантность, учет контекста [3].

Кроме того, классические детекторы углов и блобов оперируют, как правило, в пространственной области, вычисляя градиенты, гессианы или разности гауссиан, что требует значительных ресурсов. В методике двойного спектрального сканирования информация об изображении представляется в виде коэффициентов разложения по некоторому ортогональному базису. Среди множества преобразований особое место занимает двумерное преобразование Уолша, которое предлагает принципиально иной подход к поиску особых точек: вместо вычисления пространственных признаков для каждого окна, изображение разбивается на перекрывающиеся подокна, в каждом из которых считается свое двумерное преобразование Уолша, и в качестве дескриптора окна используются характеристики изменений амплитуд коэффициентов Уолша. Наличие характерных особенностей в окне приводит к появлению значимых коэффициентов в селектированных частотах, что позволяет детектировать особые точки с высокой чувствительностью. Более того, бинарная природа базиса Уолша делает его естественным выбором для аппаратных реализаций и эффективного использования в системах реального времени.

Список литературы

1. Малютина, И. А. Методы и алгоритмы анализа рентгенограмм грудной клетки, использующие локальные окна в задачах обнаружения патологий / И.А. Малютина, А.А. Кузьмин, О.В. Шаталова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 3(39). – С. 131-138. – EDN YLAWOE.

2. Кузьмин, А.А. Метод двойного спектрального сканирования при определении границ артерий на снимках коронарной ангиографии [Электронный ресурс] / А.А. Кузьмин, А.Ю. Сухомлинов, С.А. Филист, И.А. Жилин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2024. – Т. 16, № 4 (64). – С. 13-24. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_79709676_73076302.pdf.

3. Кузьмин, А.А. Моделирование рентгеноконтрастных ангиографических изображений для определения параметров сосудов методом двойного спектрального сканирования [Электронный ресурс] / А.А. Кузьмин, А.Ю. Сухомлинов, И.А. Жилин, С.А. Филист, С.В. Коробков, В.В.

Серебровский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 2. – С. 1-21. – DOI: 10.26102/2310-6018/2025.49.2.011. – URL: https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=1871.

Searching for special points in images using double spectral scanning method

Ponomarenko N.V.

Southwest State University, 305040, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94
email: pnv.online@mail.ru

In computer vision, one of the key challenges is the transition from raw data to a semantically meaningful scene description. An image, as a digital intensity matrix, contains redundant and noisy information, making its direct processing ineffective. A solution is to extract keypoints—local regions of the image with unique properties that remain robust to changing shooting conditions.

However, extracting keypoints directly from the entire image presents a scaling issue. Furthermore, the target object may occupy an area without clearly defined angular or gradient features. In such cases, global image analysis is unable to accurately localize the target structure. Dual spectral scanning can be used to compensate for these limitations. This method divides the image into windows, each of which is analyzed independently, similar to the approach described in [1]. For each window, smaller, offset subwindows are formed. Dividing a window into subwindows allows for the calculation of spectral coefficients in subwindows, and based on the characteristics of these coefficients' changes, a set of features is calculated, which are then classified for the presence of the target object [2]. This dual-scanning approach offers a number of fundamental advantages, the main ones being spatial localization, scale invariance, and contextual awareness [3].

Furthermore, classical corner and blob detectors [4] typically operate in the spatial domain, calculating gradients, Hessians, or Gaussian differences, which requires significant resources. In the dual-spectral scanning method, image information is represented as expansion coefficients over some orthogonal basis. Among the many transforms, the two-dimensional Walsh transform occupies a special place, offering a fundamentally different approach to finding keypoints: instead of calculating spatial features for each window, the image is divided into overlapping subwindows, each of which calculates its own two-dimensional Walsh transform, and the characteristics of the changes in the amplitudes of the Walsh coefficients are used as the window descriptor. The presence of characteristic features in the window leads to the emergence of significant coefficients at the selected frequencies, enabling the detection of singular points with high sensitivity. Furthermore, the binary nature of the Walsh basis makes it a natural choice for hardware implementations and efficient use in real-time systems.

References

1. Malyutina, I. A. Methods and algorithms for analyzing chest radiographs using local windows in pathology detection problems / I. A. Malyutina, A. A. Kuzmin, O. V. Shatalova // Caspian Journal: Management and High Technologies. - 2017. - No. 3 (39). - Pp. 131-138. - EDN YLAWOE [in Russian].

2. Double spectral scanning method for determining arterial boundaries in coronary angiography images / A. A. Kuzmin, A. Yu. Sukhomlinov, S. A. Filist, I. A. Zhilin // Bulletin of the Kazan State Power Engineering University. - 2024. - Vol. 16, No. 4 (64). - Pp. 13-24. - EDN ERPIUI [in Russian].

3. Modeling of radiocontrast angiographic images to determine vascular parameters using double spectral scanning / A. A. Kuzmin, A. Yu. Sukhomlinov, I. A. Zhilin [et al.] // Modeling, optimization and information technology. - 2025. - Vol. 13, No. 2 (49). - DOI 10.26102/2310-6018/2025.49.2.011. - EDN TRCXWE [in Russian].

УДК 535.232.233
ГРНТИ 29.33.29, 29.33.25
ВАК 1.3.6

Широкополосный источник узконаправленного когерентного излучения сверхмалой длительности (белый лазер)

[1] Прокопьев В.Е.,[1] Лубенко Д.М.

[1] Институт Сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, Российской Федерации, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/3

*email: * ve.prokopev@hcei.ru*

В работе определены основные принципы эффективной генерации в воздухе высоконаправленного, широкополосного (4000-1100нм), когерентного электромагнитного излучения в видимом диапазоне спектра с длительностью импульса менее 25 фс и общей энергией ~ 1мДж.

Установлено, что предельно низкая по сравнению со всем пучком угловая расходимость, большая спектральная ширина и малая длительность высокоинтенсивного светового пучка (постфиламентационного канала) объясняется нелинейными восприимчивостями воздуха третьего порядка и принципом неопределенности Гейзенберга **($\Delta\nu\times\Delta t \approx 1$).**

Указанное явление возникает при аберрационной фокусировке в воздухе мощного ИК-излучения фемтосекундной длительности, при этом усиление и спектральное уширение излучения накачки обусловлено стоксовым ВКР на вращательных переходах молекул азота и уширением в видимую антистоксову область в результате когерентного антистоксова рассеяния света и каскадного четырехфотонного процесса смешения частот.

Данная работа вошла в число важнейших результатов НИИ и ВУЗов СО РАН РФ за 2025 г. и была доложена на Общем Ученном совете ОУС СО РАН 22.05.2026 в Новосибирске [2].

Список литературы

1. Prokopev V. E., Lubenko D. M. Filamentation Process of Femtosecond Laser Pulse in Air and Associated Phenomena. //Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. – 2025. - V.18(3). - P.371-376.

2. Прокопьев В. Е., Лубенко Д. М. Широкополосный источник узконаправленного когерентного излучения сверхмалой длительности (белый лазер). Научная сессия Объединенного ученого совета по физическим наукам СО РАН Wednesday 22 Apr 2026, Asia/Novosibirsk. https://indico.inp.nsk.su/event/143/contributions/3546/attachments.pptx

Broadband source of highly directional coherent ultrashort-pulse radiation (white laser)

1 V.E. Prokopev, 1 D.M. Lubenko

1 Institute of High Current Electronics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, 634055, Tomsk, Academichesky Ave. 2/3

*email: * ve.prokopev@hcei.ru*

This work defines the basic principles of efficient generation in air of highly directional, broadband (4000–1100 nm), coherent electromagnetic radiation in the visible spectral range with a pulse duration of less than 25 fs and a total energy of ~1 mJ. It has been established that the extremely low angular divergence compared with the whole beam, the large spectral width, and the short duration of the high-intensity light beam (post-filamentation channel) are explained by the third-order nonlinear susceptibilities of air and the Heisenberg uncertainty principle ($\Delta\nu\times\Delta t \approx 1$). The indicated phenomenon occurs during aberration focusing in air of powerful IR radiation with a wavelength of λ = 940 nm and a femtosecond duration of ~ 60 fs, wherein the amplification and spectral broadening of the pump radiation are due to Stokes stimulated Raman scattering on rotational transitions of nitrogen molecules and broadening into the visible anti-Stokes region as a result of coherent anti-Stokes Raman scattering and a cascaded four-photon frequency-mixing process. This work was included among the most important results of research institutes and universities of the SB RAS for 2025 and was reported at the General Scientific Council of the SB RAS on April 22, 2026, in Novosibirsk [2].

References

1. Prokopev V. E., Lubenko D.M. Filamentation Process of Femtosecond Laser Pulse in Air and Associated Phenomena. //Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. – 2025. - V.18(3). - p.371-376.

2. Prokopev V. E., Lubenko D. M. Broadband source of highly directional coherent ultrashort-pulse radiation (white laser). Научная сессия Объединенного ученого совета по физическим наукам СО РАН. Wednesday 22 Apr 2026, Asia/Novosibirsk. https://indico.inp.nsk.su/event/143/contributions/3546/attachments.pptx.

УДК543.424
ГРНТИ 29.31.27
ВАК 01.04.05

Спектральный анализ аллогенных покрытий комбинированных биосинтетических сетчатых имплантатов

П.И. Пятаева[1], П.В. Шулепов[2], Е.В. Тимченко[1,2], П.Е. Тимченко[2], Н.А Рябов[1,2], Л.Т. Волова[1,2]

[1]Самарский университет, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе34
[2]Самарский государственный медицинский университет, 443099, Россия, г. Самара, ул. Чапаевская 89
*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

Синтетические материалы являются золотым стандартом в оперативном лечении грыж. Известно, что их использование вызывает реакцию организма на инородное тело, в результате чего формируются очаги хронического воспаления. Для исключения нежелательных реакций в НИИ «БиоТех» Самарского государственного медицинского университета разработан аллогенный комбинированный биосинтетический имплантат, представляющий собой сетку из поливинилденфторида с покрытием из тканей человека. Биопокрытие является барьером между синтетическим материалом и тканями реципиента. Создание новых медицинских изделий требует проведения комплексной оценки предлагаемого продукта. Поэтому, оценка качества таких имплантатов является весьма важной задачей.

Оптические методы нашли широкое распространение для различных биомедицинских задач [1-2]. Среди них методы спектроскопии комбинационного рассеяния и ИК-спектроскопии используются для анализа состава различных веществ. Это два взаимодополняющих методов колебательной спектроскопии, что позволяет детально изучать химические связи и структуры исследуемых веществ.

Цель работы является возможность применения методов колебательной спектроскопии для оценки качества аллогенных покрытий комбинированных биосинтетических сетчатых имплантатов.

В качестве материалов исследования были использованы биосинтетические имплантаты из поливинилденфторида без покрытия, биосинтетический имплантат из поливинилденфторида с нанесенным покрытием из коллагеносодержащего гидрогеля, а также сам коллагеносодержащий гидрогель, полученный из сухожилий человека. Качество аллогенного покрытия биосинтетического имплантата оценивалось с помощью экспериментального стенда, реализующего метод спектроскопии комбинационного рассеяния и специализированной программы обработки полученных спектров, подробно описанной в работе [3]. Для более глубокого анализа полученных спектральных исследуемых образцов был применен линейный дискриминантный анализ (LDA).

В качестве дополнительного оптического метода был использован метод ИК-спектроскопии, который был реализован с использованием Фурье-спектрометра. Спектры регистрировали с использованием фурье-спектрометра ФТ модификации 801 (Россия, ООО НПФ «СИМЕКС») на приставке НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения).

В результате проведенных исследований с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния и линейного дискриминантного анализа были установлены спектральные характеристики коллагенсодержащего гидрогеля нанесенного на поверхность сетчатого имплантата, а также геля в чистом виде. Спектральные сходства этих двух групп составляют 93%, что может свидетельствовать о равномерном распределении коллагенсодержащего геля на поверхности имплантата

С помощью ИК-спектроскопии установлено, что нанесение коллагенсодержащего геля на имплантат из ПВДФ не вызывает денатурации коллагена и наблюдается стабилизации коллагена на поверхности исследуемого имплантата.

Совокупность использования методов колебательной спектроскопии совместно с линейным дискриминантным анализом представляет собой эффективный способ неразрушающего контроля качества биопокрытий биосинтетических сетчатых имплантатов.

Список литературы

1. В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин Известия РАН, Серия Физическая, 2015, т. 79, №2, с 170-180.
2. В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин Оптика и спектроскопия 1997, т.82, №5, с.873-875.

3. Frolov O.O., Timchenko P.E., Timchenko E.V., Volova L.T. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering 2024. — Vol. 10. Issue 3. № 3

Spectral Analysis of Allogeneic Coatings of Combined Biosynthetic Mesh Implants

P.I. Pyataeva[1], P.V. Shulepov[2], E.V. Timchenko[1,2], P.E. Timchenko[2], N.A. Ryabov[1,2], L.T. Volova[1,2]

1Samara University, 34 Moskovskoe Shosse, Samara, 443086, Russia
2Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya St., Samara, 443099, Russia
*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

Synthetic materials are the gold standard in hernia surgery. Their use is known to trigger a foreign body reaction, resulting in the development of chronic inflammation. To prevent adverse reactions, the BioTech Research Institute of Samara State Medical University has developed an allogeneic combined biosynthetic implant consisting of a polyvinylidene fluoride mesh coated with human tissue. The biocoating acts as a barrier between the synthetic material and the recipient's tissue. The development of new medical devices requires a comprehensive evaluation of the proposed product. Therefore, assessing the quality of such implants is a very important task.

Optical methods have found widespread use in various biomedical applications [1-2]. Among them, Raman spectroscopy and IR spectroscopy are used to analyze the composition of various substances. These two complementary vibrational spectroscopy methods enable a detailed study of the chemical bonds and structures of the substances under study.

The goal of this study is to evaluate the feasibility of using vibrational spectroscopy to assess the quality of allogeneic coatings on combined biosynthetic mesh implants. The study materials included uncoated biosynthetic polyvinylidene fluoride implants, a biosynthetic polyvinylidene fluoride implant coated with a collagen-containing hydrogel, and a collagen-containing hydrogel obtained from human tendons. The quality of the allogeneic coating of the biosynthetic implant was assessed using an experimental setup implementing Raman spectroscopy and a specialized program for processing the obtained spectra, described in detail in [3]. Linear discriminant analysis (LDA) was used for a more in-depth analysis of the obtained spectral data.

IR spectroscopy, implemented using a Fourier spectrometer, was used as an additional optical method. Spectra were recorded using a FT-801 Fourier spectrometer (Russia, SIMEX Research and Production Company LLC) with an attenuated total internal reflection (ATIR) attachment. As a result of studies conducted using Raman spectroscopy and linear discriminant analysis, the spectral characteristics of a collagen-containing hydrogel applied to the surface of a mesh implant, as well as the gel in its pure form, were determined. The spectral similarity between these two groups is 93%, indicating a uniform distribution of the collagen-containing gel on the implant surface.

Using IR spectroscopy, it was established that applying a collagen-containing gel to a PVDF implant does not cause collagen denaturation and that collagen stabilization on the surface of the studied implant is observed.

The combination of vibrational spectroscopy methods in conjunction with linear discriminant analysis represents an effective method for non-destructive quality control of biocoatings of biosynthetic mesh implants.

References

1. V.E. Privalov, V.G. Shemanin, Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Physical Series, 2015, Vol. 79, No. 2, pp. 170-180.

2. V.E. Privalov, V.G. Shemanin Optics and spectroscopy 1997, v. 82, no. 5, p. 873-875.

3. Frolov O.O., Timchenko P.E., Timchenko E.V., Volova L.T. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering 2024. - Vol. 10. Issue 3. No. 3

УДК 004.942
ГРНТИ 28.23.15; 28.23.37
ВАК 2.2.12

Алгоритм локализации маркера «намерение движения» в биотехнических системах с интерфейсом мозг-компьютер

Скворцов М.К.

Юго-Западный государственный университет, 305000, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября 94
email: SFilist@gmail.com

При использовании интерфейса мозг-компьютер (ИМК) в программах реабилитации возникает необходимость управления устройствами реабилитации с помощью воображаемых движений. Для осуществления этого необходим критерий различия в паттернах ЭЭГ между периодами двигательной активности (ДА) и релаксации. На основе выполненного анализа предложен метод двойного спектрального сканировании отведения ЭЭГ и алгоритм, предназначенный для его реализации [1, 2].

Метод заключается в вычислении оконного преобразования Фурье (ОПФ) ЭЭГ в динамических окнах w, состоящих из n отсчетов ЭЭГ. Задавшись первым окном, осуществляют сканирование данных в этом окне посредством второго окна. Если определяется спектр вторых окон, то каждая координата второго окна (относительно первого окна) определяет строку формируемого изображения.

Учитывая, что спектры второго и первого окна определяются в реальном времени, то для ускорения принятия решения первые окна формируются с перекрытием. Минимальный интервал перекрытия определяется величиной w - размером второго окна, а максимальный интервал перекрытия определяется величиной W-w, где W - размер первого окна.

Из N динамических окон w формируются динамические спектральные окна W, в которых находят коэффициенты корреляции между входящими в них спектральными окнами w. Метод позволяет формировать корреляционные матрицы размером $N \times N$. По результатам анализа корреляционных матриц определяют показатель когерентности корреляционных окон, анализ которых позволяют локализовать маркер «намерение движения» [2].

Показатель когерентности вычисляют на каждом шаге формирования матрицы W. Если он не превышает порогового значения, то формируем новое окно w, соответствующее текущему моменту времени t_i, и возвращаемся на блоки формирования матрицы W с актуальными строками w_i.

Так как при анализе ЭЭГ необходимо фиксировать переходы сигнала в области ERD/ERS, то в тестовом сигнале это эквивалентно переходам между сегментами с высокой энергией сигнала и сегментами с низкой энергией сигнала. Фиксируя координаты экстремумов показателя когерентности, можем определить моменты переходов ERD/ERS как в тестовом, так и в реальном сигналах. Показано, что использование первой производной показателя когерентности позволяет разделить сигналы с различными энергетическими и спектральными характеристиками, а её смена знака позволяет определять координаты маркера «намерение движения».

Таким образом, разработан алгоритм локации маркера «намерение движения», основанный на циклическом накапливании показателя уверенности в наличии маркера «намерение движения», и последующим его сравнением с пороговым значением, установленным для каждого субъекта. Анализ результатов сегментации тестовых сигналов показал, что ошибка сегментации сигналов, взятых от сорока рандомно выбранных субъектов, не превышает 20%.

Список литературы

1. Кузьмин, А.А. Метод двойного спектрального сканирования при определении границ артерий на снимках коронарной ангиографии/А.А. Кузьмин, А.Ю. Сухомлинов, С.А. Филист, И.А. Жилин// Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2024. – Т. 16, № 4 (64). – С. 13-24.

2. Кузьмин, А.А. Моделирование рентгеноконтрастных ангиографических изображений для определения параметров сосудов методом двойного спектрального сканирования/ А.А. Кузьмин, А.Ю. Сухомлинов, И.А. Жилин, С.А. Филист, С.В. Коробков, В.В. Серебровский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 2. – С. 1-21. doi: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.022.

3. Ермаков, Д.А. Распознавание двигательных образов в электроэнцефалограмме с использованием двойного спектрального сканирования/ Д.А. Ермаков, Е.В. Петрунина, М.К. Скворцов, И.А. Башмакова, А.А. Кузьмин, С.А. Филист //Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2026. - Т. 25, № 1. - С. 142-155.

An Algorithm for Localizing the "Movement Intention" Marker in Biotechnical Systems with a Brain-Computer Interface

Skvortsov M.K.

Southwest State University, 305000, Russia, Kursk, st. 50 years of October 94
email: SFilist@gmail.com

When using brain-computer interfaces (BCIs) in rehabilitation programs, it becomes necessary to control rehabilitation devices using imaginary movements. To achieve this, a criterion for distinguishing EEG patterns between periods of motor activity (MA) and relaxation is required. Based on the analysis performed, a method for dual spectral scanning of EEG derivations and an algorithm for its implementation are proposed [1, 2].

The method involves calculating the windowed Fourier transform (WFT) of the EEG in dynamic windows w, consisting of n EEG samples. After defining the first window, the data in this window is scanned using the second window. If the spectrum of the second windows is determined, each coordinate of the second window (relative to the first window) determines a row of the generated image.

Considering that the spectra of the second and first windows are determined in real time, to speed up decision making, the first windows are formed with overlap. The minimum overlap interval is determined by w, the size of the second window, and the maximum overlap interval is determined by W - w, where W is the size of the first window.

From N dynamic windows w, dynamic spectral windows W are formed, in which the correlation coefficients between the spectral windows w contained within them are found. This method enables the formation of N×N correlation matrices. Based on the analysis of the correlation matrices, the coherence index of the correlation windows is determined, the analysis of which allows localization of the "intention to move" marker [2].

The coherence index is calculated at each step of matrix W formation. If it does not exceed the threshold value, a new window w corresponding to the current time ti is formed, and the matrix W formation blocks with the current rows wi are returned.

Since EEG analysis requires recording signal transitions in the ERD/ERS region, in the test signal this is equivalent to transitions between segments with high signal energy and segments with low signal energy. By recording the coordinates of the coherence index extremes, we can determine the moments of ERD/ERS transitions in both the test and real signals. It has been shown that using the first derivative of the coherence index allows us to distinguish signals with different energy and spectral characteristics, and its sign change allows us to determine the coordinates of the "intention to move" marker.

Thus, an algorithm for locating the "intention to move" marker was developed, based on the cyclic accumulation of the confidence index in the presence of the "intention to move" marker and its subsequent comparison with a threshold value set for each subject. Analysis of the test signal segmentation results showed that the segmentation error for signals taken from forty randomly selected subjects did not exceed 20%.

References

1. Kuzmin, A.A. Double spectral scanning method for determining arterial boundaries in coronary angiography images / A.A. Kuzmin, A.Yu. Sukhomlinov, S.A. Filist, I.A. Zhilin // Bulletin of Kazan State Power Engineering University. - 2024. - Vol. 16, No. 4 (64). - P. 13-24.

2. Kuzmin, A.A. Modeling of radiocontrast angiographic images for determining vascular parameters by double spectral scanning / A.A. Kuzmin, A.Yu. Sukhomlinov, I.A. Zhilin, S.A. Filist, S.V. Korobkov, V.V. Serebrovsky // Modeling, optimization and information technology. - 2025. - Vol. 13, No. 2. - P. 1-21. doi: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.022.

3. Ermakov, D.A. Recognition of motor patterns in an electroencephalogram using double spectral scanning / D.A. Ermakov, E.V. Petrunina, M.K. Skvortsov, I.A. Bashmakova, A.A. Kuzmin, S.A. Filist // Systems analysis and control in biomedical systems. 2026. - Vol. 25, No. 1. - P. 142-155.

УДК543.424
ГРНТИ 29.31.27
ВАК 01.04.05

Метод спектроскопии комбинационного рассеяния для дифференциации штаммов стрептококков, выращенных на агаризированных средах

Е.В. Тимченко[1,2], А.В. Лямин[2], К.А. Каюмов[2], И.В. Бажутова[2], Д.Г. Глубоков[2], Л.Т. Волова[2], П.Е. Тимченко[1], Ю.Д. Итяксов[1], Ф.Р. Бажутов[3]

[1]Самарский университет, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе34

[2]Самарский государственный медицинский университет, 443099, Россия, г. Самара, ул. Чапаевская89

[3]МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия., ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 3.

*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

Среди различных видов*Streptococcus* наибольшее значение в медицинской практики имеет *Streptococcus pneumoniae*. Данный условно-патогенный микроорганизмявляется одним из самых распространенных возбудителей внебольничной пневмонии, а также способен вызывать другие внелегочные осложнения [1]. К иным представителям рода Streptococcus, относится *Streptococcus mitis* и *Streptococcus oralis*, которые в норме составляют здоровую микробиоту ротовой полости.

Благодаря современным методам диагностики, таким как MALDI-ToFмасс-спектрометрия, идентификация микроорганизмов стала значительно быстрее, дешевле и точнее. Однако для некоторых видов, в том числе *S. mitis*,*S. oralis* и *S. pneumoniae* рутинная идентификация при помощи данного метода остается затруднительной, вследствие схожести протеомного профиля данных микроорганизмов [2].

Оптические методы нашли широкое распространение для различных биомедицинских задач [3-4]. Одним из методов дифференциации стрептококков может стать спектроскопия комбинационного рассеяния света (КР), которая нашла широкое распространение вдругих биомедицинских задачах.

В исследовании использовались различные виды стрептококков: штаммы *Streptococcus mitis*, штаммы *Streptococcus oralis* и штаммы *Streptococcus pneumoniae*.

Штаммы стрептококков были получены из различного клинического материала, поступающего в микробиологический отдел КДЛ Клиник Самарского государственного медицинского университета.

Исследования проводились с помощью экспериментального стенда, реализующего метод спектроскопии комбинационного рассеяниясвета, подробно описанного в работе. Экспериментальный стенд включал в себя полупроводниковый лазер (LML-785.0RB-04), оптический модуль комбинационного рассеяния света (PBL 785), спектрограф (Sharmrock SR-303i) с интегрированной цифровой камерой (ANDOR DV-420A-OE), охлаждаемой до -60°C, и компьютер.

Математическая обработка полученных спектров КР проводилась в программном комплексе Wolfram Mathematica 12.2.Для исключения вклада автофлуоресценции в КР спектре использовали метод вычитания флуоресцентной составляющей полиномиальной аппроксимации с дополнительной фильтрацией случайных шумовых эффектов [5].

Дополнительно был проведен линейный дискриминантный анализ.

В результате проведенных исследований и линейного дискриминантного анализа были установлены спектральные различия между исследуемыми штаммами стрептококков, которые проявляются на линиях КР ~484 $см^{-1}$ (гликоген), ~1280 $см^{-1}$(Амид III и маятниковые колебания CH_2-групп белкового матрикса), ~1330 $см^{-1}$ (фосфолипиды) и обусловлены особенностями строения и метаболизмаисследуемых штаммов бактерий.

Показано, что метод спектроскопии комбинационного рассеяния света может быть успешно применен для дифференциацииштаммов стрептококков.

В дальнейшем, полученные результаты могут быть использованы в качестве предпосылки для создания прибора-анализатора для дифференциацииштаммовстрептококков.

Списоклитературы

1.Paton J. C., Trappetti C. // Microbiology Spectrum. 2019. Vol. 7, No 2. DOI: 10.1128/microbiolspec.GPP3-0019-2018.

2.Chen J. H. et al. // Journal of Clinical Pathology. 2015. Vol. 68, No 8. P. 652. DOI: 10.1136/jclinpath-2014-202818.

3. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2015. Т. 79, № 2. С. 170–180.

4. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. // Оптика и спектроскопия. 1997. Т. 82, № 5. С. 873–875.

5.Frolov O. O. et al. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering. 2024. Vol. 10, No 3.

Raman Spectroscopy Method for Differentiating Streptococcal Strains Grown on Agar Media

E.V. Timchenko[1,2], A.V. Lyamin[2], K.A. Kayumov[2], I.V. Bazhutova[2], D.G. Glubokov[2], L.T. Volova[2], P.E. Timchenko[1], Yu.D. Ityaksov[1], F.R. Bazhutov[3]

[1]Samara University, 34 Moskovskoe Shosse, Samara, 443086, Russia

[2]Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya St., Samara, 443099, Russia

[3]Lomonosov Moscow State University, Faculty of Chemistry, Moscow, ul. Leninskie Gory, 1, Building 3.

*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

Among the various Streptococcus species, Streptococcus pneumoniae is the most important in medical practice. This opportunistic pathogen is one of the most common causes of community-acquired pneumonia and can also cause other extrapulmonary complications [1]. Other members of the Streptococcus genus include Streptococcus mitis and Streptococcus oralis, which normally constitute the healthy microbiota of the oral cavity.

Thanks to modern diagnostic methods such as MALDI-ToF mass spectrometry, microbial identification has become significantly faster, less expensive, and more accurate. However, for some species, including S. mitis, S. oralis, and S. pneumoniae, routine identification using this method remains difficult due to the similarity of their proteomic profiles [2]. Optical methods have found widespread use in various biomedical applications [3-4]. One method for differentiating streptococci is Raman spectroscopy, which has found widespread use in other biomedical applications.

Various streptococcal species were used in the study: Streptococcus mitis strains, Streptococcus oralis strains, and Streptococcus pneumoniae strains.

Streptococcal strains were isolated from various clinical specimens received by the Microbiology Department of the Clinical Laboratory of the Samara State Medical University Clinics.

The study was conducted using an experimental setup implementing Raman spectroscopy, which is described in detail in the paper. The experimental setup included a semiconductor laser (LML-785.0RB-04), a Raman optical module (PBL 785), a spectrograph (Sharmrock SR-303i) with an integrated digital camera (ANDOR DV-420A-OE) cooled to -60°C, and a computer.

Mathematical processing of the obtained Raman spectra was performed using the Wolfram Mathematica 12.2 software package. To eliminate the contribution of autofluorescence to the Raman spectrum, a method of subtracting the fluorescence component of a polynomial approximation with additional filtering of random noise effects was used [5].

In addition, a linear discriminant analysis was performed. As a result of the conducted studies and linear discriminant analysis, spectral differences were identified between the studied streptococcal strains. These differences are manifested in the Raman lines of ~484 cm-1 (glycogen), ~1280 cm-1 (Amide III and rocking vibrations of CH2 groups of the protein matrix), and ~1330 cm-1 (phospholipids). These differences are due to the structural and metabolic features of the studied bacterial strains.

It was demonstrated that Raman spectroscopy can be successfully applied to differentiate streptococcal strains.

These results can be further used as a basis for the development of an analyzer for differentiating streptococcal strains.

References

1. Paton J. C., Trappetti C. // Microbiology Spectrum. 2019. Vol. 7, No. 2. DOI: 10.1128/microbiolspec.GPP3-0019-2018.

2. Chen J. H. et al. // Journal of Clinical Pathology. 2015. Vol. 68, No. 8. P. 652. DOI: 10.1136/jclinpath-2014-202818.

3. Privalov V. E., Shemanin V. G. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physical Series. 2015. Vol. 79, No. 2. Pp. 170–180.
4. Privalov V. E., Shemanin V. G. // Optics and Spectroscopy. 1997. Vol. 82, No. 5. Pp. 873–875.
5. Frolov O. O. et al. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering. 2024. Vol. 10, No. 3.

УДК543.424
ГРНТИ 29.31.27
ВАК 01.04.05

Спектральная оценка состава донорских материалов для медицины

Е.В. Тимченко[1,2], П.Е. Тимченко[2], Л.Т. Волова[1,2], Н.А. Максименко[2], Н.И.Соловьев[1]

[1]Самарский университет, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе34

[2]Самарский государственный медицинский университет, 443099, Россия, г. Самара, ул. Чапаевская89

*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

В настоящее время актуальной проблемой в регенеративной медицине и тканевой инженерии является нехватка донорских материалов. Используемые в настоящее время в медицинской практике материалы на основе твердой мозговой оболочки имеют ряд ограничений. Расширение источников получения аллогенных материалов является чрезвычайно важной и актуальной задачей.

Одним из способов оценки донорских материалов являются оптические методы, которые являются недуструктивными и оперативными методами анализа [1-2]. Среди них метод спектроскопии комбинационного рассеяния нашел широкое применение для решения медико-биологических задач.

Цель работы является сравнительная спектральная оценка состава донорских материалов для регенеративной медицины.

Объектами исследований являлись донорские образцы твердой мозговой оболочки, широкой фасции бедра и перикарда аллогенных тканей человека. Исследуемые образцы были изготовлены с использованием технологии «Лиопласт»® (ТУ-9398-001-01963143-2004).

В качестве основного метода исследований биоиматериалов был использован метод спектроскопии комбинационного рассеяния, реализуемый с помощью экспериментального стенда, подробно описанного в работе [3]. Обработка спектров КР осуществлялась в специализированной программе, нормализация спектров проведена методом StandardNormalVariate (SNV). Сглаживание спектров проведено методом MaximumLikelihoodEstimation - SavitzkyGolayfilter (MLE SG) с параметром $\sigma = 4$. Для исключения вклада автофлуоресценции в спектрах комбинационного рассеяния использовался модифицированный метод вычитания флуоресцентной составляющей, полиномиальной аппроксимацией ExtendedModifiedMulti - PolynomialFitting (Ex-ModPoly) со степенью полинома 10.

В результате проведенных исследований с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния установлена спектральная разница между исследуемыми донорскими биоматериалами, которая проявляется на линиях КР 1243 $см^{-1}$ (Amide III), 1271 $см^{-1}$ (Amide III), 1450 $см^{-1}$ (CH2 deformation), 1669 $см^{-1}$ (Amide I), 936 $см^{-1}$ (Proline (collagen type I)) и 856 $см^{-1}$ (Hydroxyproline (collagen type I)), что видимо, связано с особенностями строения их органической структуры.

В тоже время установлено, что на линиях КР ~1072 $см^{-1}$ (GAG), 1573 $см^{-1}$ (Amide II), 1743 $см^{-1}$ (Phospholipids), 1435 $см^{-1}$ (CH2 deformation), наблюдается сходство спектральных свойств, которые связаны с наличием органических компонент и гликозааминогликанов, отвечающих за для улучшение регенеративных свойств.

С помощью спектроскопии комбинационного рассеяния установлено, что все исследуемые донорские биоматериалы могут применяться в регенеративной медицине.

Список литературы

1. В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин Известия РАН, Серия Физическая, 2015, т. 79, №2, с 170-180.

2. В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин Оптика и спектроскопия 1997, т.82, №5, с.873-875.

3. Frolov O.O., Timchenko P.E., Timchenko E.V., Volova L.T. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering 2024. — Vol. 10. Issue 3. № 3

Spectral Evaluation of the Composition of Donor Materials for Medicine

E.V. Timchenko[1,2], P.E. Timchenko[2], L.T. Volova[1,2], N.A. Maksimenko[2], N.I. Soloviev[1]

[1]Samara University, 34 Moskovskoe Shosse, Samara, 443086, Russia
[2]Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya St., Samara, 443099, Russia
*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

A shortage of donor materials is currently a pressing issue in regenerative medicine and tissue engineering. Dura mater-based materials currently used in medical practice have a number of limitations. Expanding the sources of allogeneic materials is an extremely important and pressing task. Optical methods, which are non-destructive and rapid methods of analysis, are one way to evaluate donor materials [1-2]. Among these, Raman spectroscopy has found wide application in solving biomedical problems.

The aim of this study is a comparative spectral assessment of the composition of donor materials for regenerative medicine.

The objects of the study were donor samples of dura mater, fascia lata, and pericardium of allogeneic human tissues. The samples were manufactured using Lioplast® technology (TU-9398-001-01963143-2004).

Raman spectroscopy, implemented using an experimental setup described in detail in [3], was used as the primary method for studying biomaterials. Raman spectra were processed using specialized software, and spectra were normalized using the StandardNormalVariate (SNV) method. Spectral smoothing was performed using the Maximum Likelihood Estimation - Savitzky Golay filter (MLE SG) method with a $\sigma = 4$ parameter. To eliminate the contribution of autofluorescence in the Raman spectra, a modified fluorescence subtraction method and an ExtendedModified Multi - Polynomial Fitting (Ex-ModPoly) polynomial approximation with a polynomial degree of 10 were used.

As a result of the Raman spectroscopy studies, a spectral difference was established between the donor biomaterials studied, which manifests itself in the Raman lines at 1243 cm-1 (Amide III), 1271 cm-1 (Amide III), 1450 cm-1 (CH2 deformation), 1669 cm-1 (Amide I), 936 cm-1 (Proline (collagen type I)) and 856 cm-1 (Hydroxyproline (collagen type I)), which is apparently related to the structural features of their organic structure.

At the same time, it was established that the Raman lines at ~1072 cm-1 (GAG), 1573 cm-1 (Amide II), 1743 cm-1 (Phospholipids), and 1435 cm-1 (CH2 deformation) exhibit similar spectral properties, which are associated with the presence of organic components and glycosaminoglycans responsible for improving regenerative properties.

Using Raman spectroscopy, it was established that all of the studied donor biomaterials can be used in regenerative medicine.

References

1. V.E. Privalov, V.G. Shemanin, Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Physical Series, 2015, Vol. 79, No. 2, pp. 170-180.

2. V.E. Privalov, V.G. Shemanin Optics and spectroscopy 1997, v. 82, no. 5, p. 873-875.

3. Frolov O.O., Timchenko P.E., Timchenko E.V., Volova L.T. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering 2024. - Vol. 10. Issue 3. No. 3

УДК543.424
ГРНТИ 29.31.27
ВАК 01.04.05

Спектральная диагностика состояния бедренной компактной кости при гангрене и флегмоне

Е.В.Тимченко[1,2], Д.Г.Глубоков[2], П.Е.Тимченко[1], И.В.Бажутова[2], Л.Т. Волова[2], Ф.Р. Бажутов[3]

[1]Самарский университет, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе 34.
[2]Самарский государственный медицинский университет, 443099, Россия, г. Самара, ул. Чапаевская 89.
[3]МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 3.
*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

Согласно статистическим данным наиболее частой причиной ампутаций становятся сосудистые заболевания, а также обширные гнойно-некротические флегмоны при сахарном диабете. По статистике, через 15-20 лет на фоне сахарного диабета у более 50% пациентов развиваются осложнения, при которых вынужденной мерой является выполнение высокой ампутации нижних конечностей. Во всех этих случаях основная задача, которая стоит перед хирургом – спасти жизнь пациенту и снизить уровень ампутации конечности.

Оптические методы нашли широкое распространение для различных биомедицинских задач [1-2]. Одним из методов диагностики состояния бедренной компактной кости при гангрене и флегмоне может статьспектроскопия комбинационного рассеяниясвета (КР), которая нашла широкое распространение в других биомедицинских задачах.

Цель работы – оценить возможности применения спектроскопии комбинационного рассеяния света для выявления спектральных различий в состоянии компактной костной ткани бедренной кости при гангрене и флегмоне.

Объектами исследований являлись аллогенные материалы бедренной компактной костной ткани донора обоего пола с установленными заболеваниями: гангрена, флегмона и условно здоровыми (не имеющие патологий костной ткани).

В качестве основного метода исследования был использован метод спектроскопии комбинационного рассеяния, который широко зарекомендовал себя в решении биомедицинских задач. Данный метод был реализован с помощью экспериментального стенда, включающего в себя рамановский зонд RPB-785, лазер LuxxMaster LML-785.0RB-04 (мощность 450 мВт, длина волны 784,7 ± 0,05 нм) и спектрограф ShamrockSR-303i с разрешением 0,15 нм со встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE. Анализировались Рамановские спектры в диапазоне 400-2200 $см^{-1}$. Обработка данных проводилась в Wolfram Mathematica 12 и включала удаление шумов с помощью усредняющего фильтра, полиномную аппроксимацию флуоресцентной составляющей и вычитание ее из спектра для получения обработанного спектра комбинационного рассеяния. Дополнительно применялся хемометрический анализ полученных спектральных данных.

В результате проведенных исследований с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния и хемометрического анализа были выявлены спектральные изменения в компактной костной ткани при флегмоне, которые связаны с изменением минерало-органического матрикса. Данные изменения, вероятнее всего, обусловлены вторичным поражением костной ткани при данном заболевании.

Установлено снижение интенсивности линий КР, соответствующих фосфатам, карбонатам и амидам в компактной костной ткани при гангрене. Данные спектральные изменения в костной ткани при гангрене менее выражены, чем при флегмоне и вероятнее всего, связаны с начальной стадией деструкции костной ткани при данном заболевании.

Полученные результаты позволяют определить состояние бедренной части компактной кости при гангрене и флегмоне, что в последствии поможет скорректировать лечение при данных типах заболеваний.

Список литературы

1. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2015. Т. 79, № 2. С. 170–180.

2. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. // Оптика и спектроскопия. 1997. Т. 82, № 5. С. 873–875.

3. Frolov O. O. et al. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering. 2024. Vol. 10, No 3.

Spectral Diagnostics of the Femoral Compact Bone Condition in Gangrene and Phlegmon

E.V. Timchenko[1,2], D.G. Glubokov[2], P.E. Timchenko[1], I.V. Bazhutova[2], L.T. Volova[2], F.R. Bazhutov[3]

[1]Samara University, 34 Moskovskoe Shosse, Samara, 443086, Russia.
[2]Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya St., Samara, 443099, Russia.
[3]Lomonosov Moscow State University, Faculty of Chemistry, Moscow, ul. Leninskie Gory, Building 1, Bldg. 3.
*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

According to statistics, the most common causes of amputations are vascular diseases, as well as extensive purulent-necrotic phlegmon associated with diabetes. Statistically, over 50% of patients with diabetes develop complications after 15-20 years, necessitating high amputation of the lower extremities. In all these cases, the surgeon's primary goal is to save the patient's life and reduce the need for amputation.

Optical methods have found widespread use in various biomedical applications [1-2]. Raman spectroscopy, which has found widespread use in other biomedical applications, can be a useful diagnostic method for assessing the condition of the femoral compact bone in gangrene and phlegmon. The aim of this study was to evaluate the potential of Raman spectroscopy to detect spectral differences in the condition of femoral compact bone tissue in patients with gangrene and phlegmon.

The subjects of the study were allogeneic femoral compact bone tissue samples from donors of both sexes with established conditions (gangrene and phlegmon) and from conditionally healthy individuals (without bone pathologies).

Raman spectroscopy, a widely used method in biomedical applications, was used as the primary research method. This method was implemented using an experimental setup comprising an RPB-785 Raman probe, a LuxxMaster LML-785.0RB-04 laser (450 mW, wavelength 784.7 ± 0.05 nm), and a ShamrockSR-303i spectrograph with a 0.15 nm resolution and an integrated DV420A-OE cooled chamber. Raman spectra were analyzed in the 400-2200 cm^{-1} range. Data processing was performed in Wolfram Mathematica 12 and included noise removal using an averaging filter, polynomial approximation of the fluorescence component, and subtraction from the spectrum to obtain a processed Raman spectrum. Chemometric analysis of the spectral data was also performed.

As a result of the studies conducted using Raman spectroscopy and chemometric analysis, spectral changes in compact bone tissue associated with phlegmon were identified, which are associated with changes in the mineral-organic matrix. These changes are most likely due to secondary bone damage in this disease.

A decrease in the intensity of Raman lines corresponding to phosphates, carbonates, and amides in compact bone tissue associated with gangrene was observed. These spectral changes in bone tissue in gangrene are less pronounced than in phlegmon and are most likely associated with the initial stage of bone destruction in this disease.

These results allow us to determine the condition of the femoral compact bone in gangrene and phlegmon, which will subsequently help adjust treatment for these types of diseases.

References

1. Privalov, V. E., Shemanin, V. G. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physical Series. 2015. Vol. 79, No. 2. pp. 170–180.

2. Privalov, V. E., Shemanin, V. G. // Optics and Spectroscopy. 1997. Vol. 82, No. 5. pp. 873–875.

3. Frolov, O. O. et al. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering. 2024. Vol. 10, No. 3.

УДК543.424
ГРНТИ 29.31.27
ВАК 01.04.05

Метод спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки качества буферных растворов, используемых в биотехнологических лабораториях

[1]П.Е. Тимченко, [2,3]А.Д. Волов, ,[1,3]Е.В. Тимченко, [3]Л.Т. Волова, [2]А.К. Стрелков, [1]А.А. Чернухин

[1]Самарский университет, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34

[2]Самарский государственный технический университет, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

[3]Самарский государственный медицинский университет, НИИ биотехнологий СамГМУ, г.Самара, ул. Чапаевская, 89

*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

В современных биотехнологических исследованиях буферные растворы играют ключевую роль, поскольку именно они обеспечивают условия, имитирующие биологическую среду организма: используются для культивирования клеточных культур и поддержания их жизнеспособности, для отмывки клеточных структур от продуктов метаболизма, а также при проведении различных клеточных и биохимических анализов. Так, сбалансированный солевой раствор Хенкса (HBSS) широко применяется для сохранения жизнеспособности клеток периодонтальной связки при травматической авульсии зубов, а забуференный фосфатом раствор Дульбекко (DPBS) находит применение, в частности, при оценке гидролитической деградации медицинских стентов из полидиоксанона [1–2].

Качество буферных растворов является одним из определяющих факторов получения достоверных и воспроизводимых результатов в биотехнологических экспериментах. Традиционные методы контроля качества буферных растворов имеют ряд существенных ограничений. Оптические методы нашли широкое распространение для различных биомедицинских задач [3-4]. Одним из методов оценки качества буферных растворов, используемых в биотехнологических лабораториях, может стать спектроскопия комбинационного рассеяния света (КР).

Цель работы: возможности применение спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки качества буферных растворов (Дульбекко и Хенкса).

В качестве исследуемых были взяты три группы образцов буферных растворов и одной группы питьевой воды (ГОСТ Р 51232-98), использованной в качестве референсного образца с заведомо высоким содержанием ионных и органических примесей: 1-питьевая вода (ГОСТ Р 51232-98) (контрольный образец); 2-раствор Дульбекко (DPBS) без Ca^{2+} и Mg^{2+}, 3- деионизированная вода для приготовления растворов производства НИИ «Биотех»; 4- сбалансированный солевой раствор Хенкса (HBSS)

Эксперименты выполнялись методом спектроскопии комбинационного рассеяния с использованием экспериментального стенда, подробно описанного в работе [5]. Установка включала лазерный модуль (LML-785.0RB-04), спектрограф (Shamrock SR-303i) с охлаждаемой ПЗС-камерой (ANDOR DV-420A-OE, –60 °C, спектральное разрешение 0,15 нм), рамановский пробник (PBL 785) и персональный компьютер для управления экспериментом и регистрации данных. Мощность лазерного излучения составляла 150 мВт, время экспозиции — 120 с.

В результате проведённого исследования методом спектроскопии комбинационного рассеяния установлено, что раствор Хенкса и раствор Дульбекко без Ca^{2+} и Mg^{2+} приготовлены на основе воды с высокой степенью деионизации, что подтверждается характерным КР-откликом в области 1660-1700 $см^{-1}$ и результатами PLS-DA-анализа.

Продемонстрировано, что КР-спектроскопии является эффективным неразрушающим инструментом для характеристики и контроля качества различных типов буферных растворов, применяемых в биотехнологических лабораториях. Представленные образцы буферных растворов соответствуют требованиям качества, предъявляемым к реагентам для биотехнологических исследований, и могут рассматриваться как полноценная альтернатива импортным аналогам.

Список литературы

1. Kitzmann J.P., Karatzas T., Mueller K.R., Avgoustiniatos E.S., Gruessner A.C., Balamurugan A.N., Bellin M.D., Hering B.J., Papas K.K. Islet Preparation Purity Is Overestimated, and Less Pure

Fractions Have Lower Post-Culture Viability Before Clinical Allotransplantation // Transplantation Proceedings. https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2014.06.011

2. Loskot J., Jezbera D., Bezrouk A., Doležal R., Andrýs R., Francová V., Miškář D., MyslivcováFučíková A. Raman Spectroscopy as a Novel Method for the Characterization of Polydioxanone Medical Stents Biodegradation // Materials. https://doi.org/10.3390/ma14185462

3. В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин Известия РАН, Серия Физическая, 2015, т. 79, №2, с 170-180.

4. В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин Оптика и спектроскопия 1997, т.82, №5, с.873-875.

5. Frolov O.O., Timchenko P.E., Timchenko E.V., Volova L.T. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering 2024. — Vol. 10. Issue 3. № 3

Raman Spectroscopy Method for Assessing the Quality of Buffer Solutions Used in Biotechnology Laboratories

[1]P.E. Timchenko, [2,3]A.D. Volov ,[1,3]E.V. Timchenko, [3]L.T. Volova, [2]A.K. Strelkov, [1]A.A. Chernukhin

1Samara University, Samara, Moskovskoe Shosse St., 34
2Samara State Technical University, Samara, Molodogvardeyskaya St., 244
3Samara State Medical University, Samara, Chapaevskaya, 89
*email: *laser-optics.timchenko@mail.ru*

Buffers play a key role in modern biotechnological research, as they provide conditions that mimic the biological environment of the body. They are used to cultivate cell cultures and maintain their viability, to wash cellular structures from metabolic products, and to conduct various cellular and biochemical analyses. For example, Hanks' balanced salt solution (HBSS) is widely used to maintain the viability of periodontal ligament cells after traumatic dental avulsion, while Dulbecco's phosphate-buffered saline (DPBS) is used, in particular, to evaluate the hydrolytic degradation of polydioxanone medical stents [1-2].

The quality of buffer solutions is one of the determining factors in obtaining reliable and reproducible results in biotechnological experiments. Traditional methods of buffer solution quality control have a number of significant limitations. Optical methods have found widespread use for various biomedical applications [3-4]. Raman spectroscopy can be used to assess the quality of buffer solutions used in biotechnology laboratories.

Objective: To examine the potential application of Raman spectroscopy to assess the quality of buffer solutions (Dulbecco and Hanks).

Three groups of buffer solution samples and one group of drinking water (GOST R 51232-98), used as a reference sample with a known high content of ionic and organic impurities, were studied: 1 - drinking water (GOST R 51232-98) (control sample); 2 - Dulbecco's DPBS solution (DPBS) without Ca^{2+} and Mg^{2+}; 3 - deionized water for solution preparation manufactured by the Biotech Research Institute; 4 - Hanks' balanced salt solution (HBSS).

The experiments were performed using Raman spectroscopy using an experimental setup described in detail in [5]. The setup included a laser module (LML-785.0RB-04), a spectrograph (Shamrock SR-303i) with a cooled CCD camera (ANDOR DV-420A-OE, –60°C, 0.15 nm spectral resolution), a Raman probe (PBL 785), and a personal computer for experiment control and data recording. The laser power was 150 mW, and the exposure time was 120 s.

A Raman spectroscopy study revealed that Hanks' solution and Dulbecco's solution without Ca^{2+} and Mg^{2+} were prepared using highly deionized water, as evidenced by the characteristic Raman response in the 1660-1700 cm^{-1} region and the results of PLS-DA analysis. Raman spectroscopy has been demonstrated to be an effective non-destructive tool for characterizing and quality control various types of buffer solutions used in biotechnology laboratories. The presented buffer solution samples meet the quality requirements for biotechnology research reagents and can be considered a viable alternative to imported analogs.

References

1. Kitzmann J.P., Karatzas T., Mueller K.R., Avgoustiniatos E.S., Gruessner A.C., Balamurugan A.N., Bellin M.D., Hering B.J., Papas K.K. Islet Preparation Purity Is Overestimated, and Less Pure Fractions Have Lower Post-Culture Viability Before Clinical Allotransplantation // Transplantation Proceedings. https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2014.06.011

2. Loskot J., Jezbera D., Bezrouk A., Doležal R., Andrýs R., Francová V., Miškář D., MyslivcováFučíková A. Raman Spectroscopy as a Novel Method for the Characterization of Polydioxanone Medical Stents Biodegradation // Materials. https://doi.org/10.3390/ma14185462

3. V.E. Privalov, V.G. Shemanin Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Physical Series, 2015, Vol. 79, No. 2, pp. 170-180.

4. V.E. Privalov, V.G. Shemanin Optics and spectroscopy 1997, v. 82, no. 5, p. 873-875.

5. Frolov O.O., Timchenko P.E., Timchenko E.V., Volova L.T. Decomposition Method for Raman Spectra of Dentine // Journal of Biomedical Photonics and Engineering 2024. - Vol. 10. Issue 3. No. 3

УДК 535.34:537.632.5
ГРНТИ 29.31.26, 31.19.29
ВАК 1.3.6

Влияние озона на работу анализатора паров ртути на основе поперечного эффекта Зеемана

***Тихомиров А. А., Татур В. В., Таничев А.С.**

Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук,
634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3
email: tikhomirov@imces.ru, tatur@imces.ru, tanichev_aleksandr@mail.ru

В развитие работ [1, 2] по оценке влияния примесных газов на измерение концентрации паров ртути N_{Hg} в атмосферном воздухе с помощью анализатора на основе поперечного эффекта Зеемана в УФ-диапазоне (λ_0 = 253,7 нм) проведены исследования влияния озона (O_3). Молекулы O_3 имеют полосу поглощения Хартли, на которую попадает λ_0 анализатора.

Экспериментально исследовано влияние озона, генерируемого ртутной капиллярной лампой (РКЛ) анализатора ДОГ-07 [3], так и дополнительной ртутной лампой низкого давления, помещенной в измерительный контур экспериментальной установки.

Линия излучения РКЛ в вакуумном ультрафиолете ($\lambda_{в.у.}$ = 184.95 нм) вызывает образование озона из кислорода воздуха в измерительной кювете анализатора ДОГ-07. Это приводит к появлению фиктивных значений концентрации N_{Hg} в пределах ~200±50 нг/м^3, при ПДК ртути 300 нг/м^3, и влияет на результаты измерений N_{Hg} в исследуемой газовой смеси. Поэтому необходимо отсекать $\lambda_{в.у.}$ в оптико-электронном тракте анализатора.

При генерации в измерительном контуре установки озона в количестве 1,71 мг/м^3 фиктивная концентрация N_{Hg} составляла около 250 нг/м^3, при этом введение в измерительный контур установки 1 мл насыщенных паров ртути фиксировалось как увеличение показаний анализатора до 1050 нг/м^3.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН (проект № FWRG-2026-0009).

Список литературы

1. Татур В.В., Тихомиров А.А. Измерение содержания паров ртути и других газов в воздушной среде анализаторами, использующими эффект Зеемана в УФ-диапазоне // Лазеры. Измерения. Информация. 2024. Т. 04. № 02 (14). С. 40-53. doi: 10.51639/2713-0568_2024_4_2_40.

2. Li Chuan Xin, Si Fu-Qi, Liu Wen-Qing, Zhou Hai-Jin, Jiang Yu, Hu Ren-Zhi. Transverse Zeeman background correction method for mercury meazurement // Chin. Phys. B. 2014 V. 23. No 10. P. 107104-1107104-6. DOI: 10.1088/1674-1056/23/10/107104.

3. Татур В.В., Тихомиров А.А., Абрамочкин А.И., и др. Анализатор паров ртути в атмосферном воздухе на основе ртутной капиллярной лампы с естественным изотопным составом // Оптика атмосферы и океана. − 2019. − Т. 32. − № 7. − С. 576−580. doi: 10/15372/AOO20190709.

The effect of ozone for the operation of the mercury vapor analyzer based on the Zeeman transverse effect

***Tikhomirov A. A., Tatur V.V., Tanichev A.S.**

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 634055, Russia, Tomsk, Akademicheskii ave. 10/3
email: tikhomirov@imces.ru, tatur@imces.ru, tanichev_aleksandr@mail.ru

Continuing the studies [1, 2] on the influence of impurity gases on measurements of mercury vapor concentration N_{Hg} in ambient air using an analyzer based on the transverse Zeeman effect in the UV range (λ_0 = 253.7 nm), the effect of ozone (O_3) has been investigated. O_3 molecules exhibit the Hartley absorption band, which encompasses the analyzer's operating wavelength λ_0.

The influence of ozone was studied experimentally using both the mercury capillary lamp (MCL) of the DOG-07 analyzer [3] and an additional low-pressure mercury lamp placed within the measurement loop of the experimental setup.

The MCL emission line in the vacuum ultraviolet ($\lambda_{v.u.v.}$ = 184.95 nm) generates ozone from atmospheric oxygen present in the measurement cell of the DOG-07 analyzer. This leads to spurious N_{Hg} readings of approximately 200±50 ng/m^3, compared to a mercury maximum allowable concentration of 300 ng/m^3, thus affecting the measurement results in the gas mixture under study. Therefore, it is necessary to filter out the $\lambda_{v.u.v.}$ in the optical-electronic path of the analyzer.

When 1.71 mg/m^3 of ozone was generated in the measurement loop of the setup, the spurious N_{Hg} concentration was approximately 250 ng/m^3. Under these conditions, introducing 1 mL of saturated mercury vapor into the loop was registered as an increase in analyzer readings to 1050 ng/m^3.

This work was carried out within the framework of the state assignment for IMCES SB RAS (Project No. FWRG-2026-0009).

References

1. Tatur V.V., Tikhomirov A.A. Measurement of mercury vapor and other gases in the air by analyzers using the Zeeman Effect in the UV range // Lasers. Measurements. Information. 2024. V. 04. No 02 (14). P. 40-53. DOI: 10.51639/2713-0568_2024_4_2_40.

2. Li Chuan Xin, Si Fu-Qi, Liu Wen-Qing, Zhou Hai-Jin, Jiang Yu, Hu Ren-Zhi. Transverse Zeeman background correction method for mercury meazurement // Chin. Phys. B. 2014 V. 23. No 10. P. 107104-1107104-6. DOI: 10.1088/1674-1056/23/10/107104.

3. Tatur V.V., Tikhomirov A.A., Abramochkin A.I., et al. Analyzer of Mercury Vapors in Atmospheric Air Based on a Mercury Capillary Lamp with Natural Isotope Composition // Atmospheric and Oceanic Optics. − 2019. – V. 32. – No 06. − P. 701−705. doi: 10.1134/S1024856019060174.

УДК 535.243; 535.36
ГРНТИ 29.31.26, 76.13.15
ВАК 1.3.6, 2.2.6

К методическим рекомендациям по использования в тераностике наночастиц и нанооболочек Ag, Au

Трусевич Л.А., Кугейко М.М.

Белорусский государственный университет, 220030, пр-т Независимости, 4, Минск, Беларусь
e-mail: kugeiko@bsu.b

Биомедицинская оптика является одной из наиболее быстро развивающихся областей науки и техники. Неразрушающая природа света, используемого для исследования и детектирования аномалий в тканях человека, делает её весьма привлекательной для разработки новых неинвазивных диагностических и терапевтических методов. Следует выделить такое направление в биомедицинской оптике как тераностика, которая объединяет диагностику заболевания и персонифицированное лечение пациента с улучшенной эффективностью и безопасностью.

В последнее время приобрела актуальность тема использования наночастиц в качестве носителей лекарственных средств для клинических применений [1–3]. Во-первых, использование наночастиц для адресной доставки лекарств позволяет увеличить терапевтическое воздействие на поражённые ткани. Кроме того, наночастицы металлов обладают рядом уникальных оптических свойств и могут быть использованы для диагностики биообъектов. Эффективность использования данных оптических и фототермических свойств наночастиц благородных металлов в диагностике и терапии возникает в результате резонансных колебаний их свободных электронов в присутствие света, которые известны как поверхностный плазмонный резонанс (ППР). В результате плазмонного резонанса может произойти излучение света – процесс, который находит большое применение в областях оптики и визуализации, либо может произойти быстрое преобразование в тепло [1–3].

Не менее важным объектом исследований в тераностике являются нанооболочки – сферические частицы, с диэлектрической сердцевиной и слоем металлической оболочки. Они служат примером весьма многообещающего применения нанохимии к биомедицинской проблеме. Так, регулируя размеры внутреннего и внешнего слоя оболочки, плазмонный резонанс нанооболочки может быть настроен на любую необходимую длину волны в области видимого и инфракрасного спектра поглощения [4].

Нанооболочки наряду с наночастицами представляют большой интерес для оптической визуализации биообъектов, биосенсорики, лазерной фототермической терапии и диагностики рака. Существующие протоколы синтеза золотых, серебряных нанооболочек с ядром из оксида кремния позволяют получать частицы диаметром десятки–сотни нанометров со сравнительно узким распределением по размерам.

Важным фактором в решении отмеченных задач является уникальная настраиваемость свойств плазмонного резонанса с использованием металлических наночастиц и нанооболочек путем изменения их размера, формы, состава и среды, что позволяет создавать наноструктуры, предназначенные для конкретных биологических применений [3]. Например, использование преимуществ усиления рассеяния наночастиц золота, серебра, связанных с молекулами-мишенями, дает возможность проводить визуализацию и диагностику таких заболеваний, как рак надпочечников, кожи, молочной железы.

Однако существует разрыв между технологическими достижениями и клиническими применениями данных свойств наночастиц. Это требует как проведения научных исследований, так и разработки технических средств тераностики.

Нами проведено исследование спектральных свойств плазмонного резонанса монодисперсных и полидисперсных частиц и нанооболочек серебра (Ag) и золота (Au) в биообъектах (кожа, надпочечники, молочная железа), используемых в качестве контрастных агентов для методов оптической визуализации (флуоресцентная микроскопия, спектроскопия с пространственным разрешением и т.п.) и терапии патологических очагов.

Исследование возможностей настраиваемости плазмонного резонанса для монодисперсных и полидисперсных наночастиц и нанооболочек Ag и Au проведено сравнением их спектральных оптических свойств использованием программного пакета MiePlot. Моделирование проводилось по

теории Ми. При создании модели в ходе моделирования использовался режим, позволяющий создать двухслойный шар с диэлектрическим ядром.

Опираясь на рассмотренные выше сведения о диаметре пор эндотелия здоровой и поражённой ткани, зависимости сечения взаимодействия оптического излучения от размера частицы, размер наночастиц и нанооболочек благородных металлов выбран в диапазоне от 5 нм до 50 нм. Показатель преломления биологической среды (кожа, надпочечники, молочная железа) определялся из данных [1-4] и приведён в таблице.

Таким образом, созданы компьютерные модели (КМ), состоящие наночастиц и нанооболочек из кремнеземной сердцевины, радиус которой изменялся от 5 нм до 50 нм с шагом 5 нм, и оболочки из Ag и Au, толщина которой составляла 5 нм и 10 нм. Моделирование проведено и для заданной функции распределения частиц по размерам – функции нормального распределения, также с использование программного пакета MiePlot. Рассчитывались сечения рассеяния и поглощения плазмонных частиц в крови здорового человека.

Таблица

Показатель преломления различных раковых клеток

Тип рака	Показатель преломления
Рак кожи	1.38
Рак надпочечников	1.395
Рак молочной железы	1.401

Очевидно, что в тераностике биообъектов целесообразно использовать окно прозрачности, соответствующее диапазону длин волн максимального проникновения света в крови человека. В результате поведенных исследований важно отметить полученные результаты, необходимые для создания методик использования данных частиц в тераностике.

С учетом максимального проникновения света необходимо использовать нанооболочки Au с h = 10 нм, соответствующие резонансным длинам волн от 758 нм до 764, или нанооболочки Ag при h = 5 нм, соответствующим резонансным длинам волны от 845 нм до 855, при показателях преломления 1.38, 1.395 и 1.401. При этом нанооболочки Au и Ag с размерами r = 35–45 нм имеют максимальные значения коэффициентов рассеяния в отмеченных диапазонах длин волн ($\sim 8\times 10^{-14}$ м^2 и $\sim 14\times 10^{-14}$ м^2 соответственно), а значит, они могут быть наиболее эффективно использованы в качестве контрастных агентов для диагностики в ближнем инфракрасном диапазоне. В тоже время, резонансные частоты и нанооболочек Ag с толщиной оболочки h = 5 нм, и Au с толщиной оболочки h = 10 нм, расположенные на краях окна прозрачности, также могут использоваться в диагностических целях, что позволяет решать задачи как выбора размеров нанооболочек, вводимых в организм человека, так и выбора оптических (лазерных) источников оптического излучения.

Для плазмонных свойств наночастиц серебра и золота (Ag, Au) в организме человека в [5].показано: максимальные сечения рассеяния оптического излучения для монодисперсных и полидисперсных частиц серебра (Ag), распределенных по нормальному закону, достигаются и имеют практически одинаковые значения соответственно для длин волн 490 нм и 488 нм при одинаковых радиусах (для полидисперсных частиц среднем), равным 50 нм, максимумы же сечений поглощения достигаются на длинах волн 390 нм и 391 нм для радиусов наночастиц равных 45 нм; для монодисперсных и полидисперсных частиц золота (Au) максимумы рассеяния достигаются на длине волны 582 нм для наночастиц золота с радиусами 50 нм, максимумы же поглощения на длинах волн 542 нм и 541 нм для наночастиц золота с радиусами 50 нм (среднем для полидисперсных частиц).

Если сравнивать спектральные свойства нанооболочек Au и Ag со спектральными свойствами обычных серебряных и золотых коллоидных частиц с типичными размерами в диапазоне 5–50 нм [5], то можно заключит, что сечения рассеяния нанооболочек значительно превышают сечения рассеяния обычных коллоидных частиц. Так, максимальные сечения рассеяния оптического излучения для монодисперсных и полидисперсных частиц Ag, распределенных по нормальному закону, достигаются и имеют практически одинаковые значения ($\sim 5{,}42\cdot 10^{-14}$ м^2) для длин волн 490 нм и 488 нм соответственно, а для монодисперсных и полидисперсных частиц Au максимумы сечений рассеяния ($\sim 3{,}88\cdot 10^{-14}$ м^2) достигаются на длине волны 582 нм. Сравнивая их сечениями рассеяния с сечением рассеяния нанооболочек видно, что резонансное рассеяние нанооболочек Au и Ag для толщин оболочек 5 и 10 нанометров при радиусах сердцевины (кремнезем) в

рассматриваемом диапазоне 5–45 нм более чем в два раза превышает рассеяние обычных золотых коллоидных частиц Au и Ag с типичными размерами в диапазоне 5-50 нм [5]. В тоже время спектры резонансного рассеяния коллоидных частиц Au и Ag лежат вне области окна прозрачности светового излучения в биообъектах. Из отмеченного следует, что использование их в качестве контрастных элементов для диагностического применения в медицине менее эффективно, чем использование нанооболочек Au и Ag. Однако коллоидные частицы серебра и золота эффективны в терапевтических целях за счет возможности более быстрого преобразования в тепло воздействия на этих длинах волн.

Важно также отметить, что при нормальном распределении для полидисперсных наночастиц и нанооболочек результаты расчета как сечений рассеяния, так спектральных свойств отличаются незначительно от результатов расчета для монодисперсных (не больше чем на 2 нм для длин волн, и на сотые доли для сечений рассеяния), что позволяет говорить о целесообразности использования на практике полидисперсных нанооболочек серебра и золота с сердцевиной кремния, поскольку при этом упрощаются требования к точностным характеристикам размеров нанооболочек.

Список литературы

1. Li Z. Cancer drug delivery in the nano era: An overview and perspectives (Review) / Z. Li [et al.] // Oncology Reports. 2017. Vol. 38. №. 2. P. 611–624.

2. Будкевич Е. В. Биокомпоненты наносистем: учебное пособие (курс лекций). Ставрополь, 2017. 118 с.

3. Jain P. K. Metals on the Nanoscale: Optical and Photothermal Properties and Some Applications in Imaging,Sensing, Biology, and Medicine // Accounts of Chemical Research. 2008. Vol. 41. № 12. P. 1578–1586.

4. Lal S., Clare, S. E., Halas, N. J. Nanoshell-Enabled Photothermal Cancer Therapy: Impending Clinical Impact // Accounts of Chemical Research. 2008. Vol. 41. № 12. P. 1842-1851.

5. Трусевич Л.А., Кугейко М.М. Плазмонные свойства наночастиц серебра и золота (ag, au) в организме человека и их использование в тераностике // Лазеры. Измерения. Информация. 2025. Том 5, № 01. С. 5–16.

To the methodological recommendations for the use of Ag, Au nanoparticles and nanoshells in theranostics

L.A. Trusevich, M.M. Kugeiko

Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave., Minsk, Belarus, 220030
e-mail: kugeiko@bsu.by

Biomedical optics is one of the fastest-growing fields of science and technology. The non-destructive nature of light used to study and detect abnormalities in human tissue makes it highly attractive for the development of new non-invasive diagnostic and therapeutic methods. A particularly noteworthy area of biomedical optics is theranostics, which combines disease diagnosis and personalized patient treatment with improved efficacy and safety.

Recently, the use of nanoparticles as drug carriers for clinical applications has gained increasing relevance [1–3]. Firstly, the use of nanoparticles for targeted drug delivery allows for increased therapeutic effects on affected tissues. Furthermore, metal nanoparticles possess a number of unique optical properties and can be used for diagnostics of biological objects. The effectiveness of using these optical and photothermal properties of noble metal nanoparticles in diagnostics and therapy arises from the resonant oscillations of their free electrons in the presence of light, which are known as surface plasmon resonance (SPR). Plasmon resonance can result in light emission—a process that is widely used in optics and imaging—or rapid conversion to heat [1–3].

An equally important research object in theranostics are nanoshells—spherical particles with a dielectric core and a metallic shell layer. They serve as an example of a very promising application of nanochemistry to biomedical problems. By adjusting the sizes of the inner and outer shell layers, the plasmonic resonance of the nanoshell can be tuned to any desired wavelength in the visible and infrared absorption spectrum [4].

Nanoshells, along with nanoparticles, are of great interest for optical imaging of biological objects, biosensors, laser photothermal therapy, and cancer diagnostics. Existing protocols for synthesizing gold and

silver nanoshells with a silicon oxide core allow for the production of particles with diameters of tens to hundreds of nanometers and a relatively narrow size distribution.

An important factor in solving these problems is the unique tunability of plasmon resonance properties using metal nanoparticles and nanoshells by varying their size, shape, composition, and environment, enabling the creation of nanostructures tailored for specific biological applications [3]. For example, taking advantage of the enhanced scattering of gold and silver nanoparticles bound to target molecules enables the visualization and diagnosis of diseases such as adrenal, skin, and breast cancer.

However, there is a gap between technological advances and clinical applications of these nanoparticle properties. This requires both scientific research and the development of theranostic technology.

We conducted a study of the spectral properties of plasmon resonance of monodisperse and polydisperse particles and nanoshells of silver (Ag) and gold (Au) in biological objects (skin, adrenal glands, mammary gland) used as contrast agents for optical imaging methods (fluorescence microscopy, spatially resolved spectroscopy, etc.) and therapy of pathological foci.

The tunability of plasmon resonance for monodisperse and polydisperse Ag and Au nanoparticles and nanoshells was studied by comparing their spectral and optical properties using the MiePlot software package. Simulations were conducted using Mie theory. A mode allowing the creation of a bilayer sphere with a dielectric core was used during the modeling process.

Based on the above-discussed data on the pore diameter of endothelial tissue in healthy and diseased tissue and the dependence of the optical radiation interaction cross-section on particle size, the size of the noble metal nanoparticles and nanoshells was selected in the range from 5 nm to 50 nm. The refractive index of the biological environment (skin, adrenal glands, and mammary glands) was determined from the data and is presented in the table.

Thus, computer models (MK) were created consisting of a silica core with a radius varying from 5 nm to 50 nm in 5 nm increments, and an Ag and Au shell with a thickness of 5 nm and 10 nm. The simulation was also performed for a given particle size distribution function—the normal distribution function—using the MiePlot software package. The scattering and absorption cross-sections of plasmonic particles in healthy human blood were calculated.

Table

Refractive index of different cancer cells

Type of cancer	Refractive index
Skin cancer	1.38
Adrenal cancer	1.395
Breast cancer	1.401

Clearly, in theranostics of biological objects, it is advisable to use a transparency window corresponding to the wavelength range of maximum light penetration in human blood. The results of these studies are important to note, as they are necessary for developing methods for using these particles in theranostics.

Taking into account the maximum light penetration, it is necessary to use Au nanoshells with h = 10 nm, corresponding to resonant wavelengths from 758 nm to 764, or Ag nanoshells with h = 5 nm, corresponding to resonant wavelengths from 845 nm to 855, with refractive indices of 1.38, 1.395 and 1.401. At the same time, Au and Ag nanoshells with sizes r = 35–45 nm have maximum values of scattering coefficients in the noted wavelength ranges ($\sim 8\times 10^{-14}$ m^2 and $\sim 14\times 10^{-14}$ m^2, respectively), which means they can be most effectively used as contrast agents for diagnostics in the near infrared range. At the same time, the resonant frequencies of Ag nanoshells with a shell thickness of h = 5 nm, and Au with a shell thickness of h = 10 nm, located at the edges of the transparency window, can also be used for diagnostic purposes, which makes it possible to solve problems of both selecting the sizes of nanoshells introduced into the human body and selecting optical (laser) sources of optical radiation.

For the plasmonic properties of silver and gold nanoparticles (Ag, Au) in the human body, it was shown in [5]: the maximum scattering cross-sections of optical radiation for monodisperse and polydisperse silver (Ag) particles distributed according to the normal law are achieved and have practically the same values, respectively, for wavelengths of 490 nm and 488 nm at the same radii (on average for polydisperse particles) equal to 50 nm, while the maxima of the absorption cross-sections are achieved at wavelengths of 390 nm and 391 nm for nanoparticle radii equal to 45 nm; for monodisperse and polydisperse gold (Au) particles, the scattering maxima are achieved at a wavelength of 582 nm for gold nanoparticles with radii of

50 nm, while the absorption maxima are at wavelengths of 542 nm and 541 nm for gold nanoparticles with radii of 50 nm (on average for polydisperse particles).

If we compare the spectral properties of Au and Ag nanoshells with the spectral properties of ordinary silver and gold colloidal particles with typical sizes in the range of 5–50 nm [4], we can conclude that the scattering cross sections of the nanoshells significantly exceed the scattering cross sections of ordinary colloidal particles. Thus, the maximum scattering cross sections of optical radiation for monodisperse and polydisperse Ag particles distributed according to the normal law are achieved and have practically the same values (~5.42·10-14 m^2) for wavelengths of 490 nm and 488 nm, respectively, and for monodisperse and polydisperse Au particles, the scattering cross sections maxima (~3.88·10-14 m2) are achieved at a wavelength of 582 nm. Comparing their scattering cross-sections with the scattering cross-section of nanoshells, it is evident that the resonant scattering of Au and Ag nanoshells for shell thicknesses of 5 and 10 nanometers with core radii (silica) in the considered range of 5–45 nm is more than twice as high as the scattering of conventional Au and Ag colloidal particles with typical sizes in the range of 5–50 nm [4]. At the same time, the resonant scattering spectra of Au and Ag colloidal particles lie outside the transparency window of light radiation in biological objects. From the above, it follows that their use as contrast elements for diagnostic applications in medicine is less effective than the use of Au and Ag nanoshells. However, colloidal silver and gold particles are effective for therapeutic purposes due to the possibility of more rapid conversion to heat of exposure at these wavelengths.

It is also important to note that for a normal distribution for polydisperse nanoparticles and nanoshells, the calculation results for both scattering cross-sections and spectral properties differ insignificantly from the calculation results for monodisperse ones (by no more than 2 nm for wavelengths, and by hundredths of a fraction for scattering cross-sections), which allows us to talk about the feasibility of using polydisperse silver and gold nanoshells with a silicon core in practice, since this simplifies the requirements for the accuracy characteristics of the nanoshell sizes.

References

1. Li Z. Cancer drug delivery in the nano era: An overview and perspectives (Review) / Z. Li [et al.] // Oncology Reports. 2017. Vol. 38. No. 2. P. 611–624.

2. Budkevich E. V. Biocomponents of nanosystems: A tutorial (lecture course). Stavropol, 2017. 118 p.

3. Jain P. K. Metals on the Nanoscale: Optical and Photothermal Properties and Some Applications in Imaging, Sensing, Biology, and Medicine // Accounts of Chemical Research. 2008. Vol. 41. No. 12. P. 1578–1586.

4. Lal S., Clare, S. E., Halas, N. J. Nanoshell-Enabled Photothermal Cancer Therapy: Impending Clinical Impact // Accounts of Chemical Research. 2008. Vol. 41. No. 12. P. 1842-1851.

5. Trusevich L. A., Kugeiko M. M. Plasmonic Properties of Silver and Gold Nanoparticles (Ag, Au) in the Human Body and Their Use in Theranostics // Lasers. Measurements. Information. 2025. Vol. 5, No. 01. P. 5–16.

УДК 535:621.373.8
ГРНТИ 29.33.15
ВАК 1.3.19

Численное исследование зависимости характеристик излучения рекомбинационного Ca-лазера от параметров накачки активной среды

Чеботарев Г. Д.

Южный федеральный университет, 344006, Россия,
г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая 105/42
*email: * gdchebotarev@sfedu.ru*

Одним из эффективных источников коротковолнового излучения является рекомбинационный Ca-лазер, излучающий в ультрафиолетовом диапазоне на ионных переходах кальция (λ=373,7 и 370,6 нм CaII) [1]. С использованием метода математического моделирования [1] нами были проведены численные исследования динамики характеристик излучения саморазогревного Ca-лазера при вариациях параметров накачки активной среды в широком интервале значений. При этом изучались зависимости выходных характеристик (средней мощности P_{av} и коэффициента полезного действия η) от удельного энерговклада w_{sp} в активную среду. Анализ результатов моделирования показал, что величины P_{av} и η оказываются близкими к максимальным значениям в довольно широком интервале значений w_{sp}. При этом оптимальный режим накачки для активных элементов с различной геометрией может достигаться при существенно различающихся значениях w_{sp}, что обусловлено необходимостью обеспечения согласования электрической схемы накачки и конкретного активного элемента. Полученные результаты позволяют прогнозировать оптимальные условия возбуждения Ca-лазеров с различной геометрией.

Список литературы

1. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д., Юдин Н.А., Васильева А.В., Полунин Ю.П., Пруцаков О.О. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. – 526 с.

Numerical investigation of the dependence of the radiation characteristics of a recombination Ca-laser on the pumping parameters of the active medium

Chebotarev G. D.

Southern Federal University, 344006, Russia, Rostov-on-Don,
st. Bolshaya Sadovaya 105/42
*email: * gdchebotarev@sfedu.ru*

One of the effective sources of short-wavelength radiation is a recombination Ca-laser emitting in the ultraviolet range on the ion transitions of calcium (λ=373.7 and 370.6 nm CaII) [1]. Using the method of mathematical modeling [1], we carried out numerical studies of the dynamics of the radiation characteristics of a self-heating Ca-laser with variations in the pumping parameters of the active medium over a wide range of values. In this case, the dependences of the output characteristics (average power P_{av} and efficiency η) on the specific energy input w_{sp} into the active medium were studied. Analysis of the modeling results showed that the values of P_{av} and η are close to the maximum values over a fairly wide range of w_{sp} values. Moreover, the optimal pumping regime for active elements with different geometries can be achieved with significantly different w_{sp} values, which is due to the need to ensure matching between the electrical pumping circuit and a specific active element. The obtained results allow us to predict the optimal excitation conditions for Ca-lasers with different geometries.

References

1. Soldatov A.N., Latush E.L., Chebotarev G.D., Yudin N.A., Vasil’eva A.V., Polunin Yu.P., Prutsakov O.O. Impul'sno-periodicheskie lazery na parakh strontsiya i kal'tsiya [Repetitively pulsed strontium and calcium vapor laser]. – Tomsk: TML-Press, 2012. – 526 p.

УДК 504.3
ГРНТИ 87.25.27
ВАК 1.5.15

Погрузка танкеров и влияние розы ветров в зоне порта

Чура М.Н., Грицова А.Ц., Рихтер М.О., * Чура Н.Н.

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, Россия, г. Новороссийск, пр. Ленина 93

*email: mn.chura@yandex.ru, alinka.gogoryan@mail.ru, rikhter.milana@yandex.ru, * nnchura@rambler.ru*

Нефть и нефтепродукты в последние десятилетия составляет основной объём грузопотока в порту Новороссийск, так в 2025 г. этот очередной российский рекорд превысил величину 122 млн. тонн (73% от всех видов грузов). Перевалка опасных грузов в таких количествах, безусловно, угроза безопасности, вместе с тем, не только аварии с нефтяными разливами, потенциальные и реальные, но и некоторые процессы, связанные с выполнением грузовых операций вызывают беспокойство местного населения и требуют внимания специалистов [1].

При морской погрузке нефти происходит вытеснение поступающим грузом нефтяных паров и газов из танков судна. Парогазовая смесь из танков при этом может выбрасываться непосредственно в атмосферу или поступать в специальную систему улавливания паров. Причём объём удаляемой из танка парогазовой смеси равен объёму поступившей в танк нефти, что можно использовать при количественной оценке выбросов. В новороссийском порту, где основные нефтяные терминалы не относятся к новым, всё же, стремятся использовать схему улавливания паров. При этом наибольший по объёму перевалки в России терминал – КТК-Р, в силу значительной удалённости причальных устройств от берега (примерно 5 км), не имеет систем улавливания паров. Такова существующая мировая практика эксплуатации выносных причальных устройств (ВПУ): при низких, в целом, показателях аварийности, свойственных подобным схемам, выбросы паров здесь значительные.

Система улавливания паров экономически оправдана, т.к. позволяет использовать ценные энергоресурсы, а при выбросах паров в атмосферу, даже вдали от берега, специалисты обычно «перекладывают ответственность» на розу ветров. Всё потому, что меркаптаны, входящие в состав выбросов, имеют весьма резкий запах и новороссийцы периодически это чувствуют. Меркаптаны – легколетучие производные сероводорода, являются продуктами гниения органических веществ, поэтому у человека эволюционно выработался механизм особой чувствительности к таким соединениям. Порог ощущения запаха меркаптанов чрезвычайно низкий, значительно ниже ПДК, что позволяет использовать эти вещества, например, для выявления утечек бытового газа.

Появление меркаптанов на танкере связано с судовыми инертными газами, наличие которых необходимо в грузовых танках для обеспечения пожаро- и взрывобезопасности. В качестве инертных обычно используются выхлопные газы судовых дизелей, которые определённое время инертизируют (нейтрализуют) опасную среду нефтяных паров, а затем вытесняются нефтегрузом при погрузке танкера. Таким образом, удаляемые с танкера инертные газы дважды являются объектом выброса. Первый раз – как побочный продукт выработки энергетического ресурса движения судна, а второй – после выполнения функции обеспечения безопасности. Первый тип выброса характерен для всех судов, а второй тип свойствен нефтяным танкерам. При этом найти замену используемым инертным газам, учитывая их необходимое количество, не просто (оценка объема, удаляемой с танкера парогазовой смеси приведена выше).

Можно отметить, что в настоящее время в России в целом отсутствует система нормирования запаха в атмосферном воздухе (ГОСТ Р 58578-2019). При отсутствии нормативной базы в отношении запаха, исследования выбросов предприятий имеют ограниченную область применения и не позволяют природоохранным органам воздействовать на предприятия в части проведения мероприятий по снижению выбросов пахучих веществ. Перспективы здесь могут быть связаны с введением местных, локальных нормативов запаха, действующих на относительно небольшой территории вблизи предприятия, выбросы пахучих веществ которого негативно воздействуют на население.

Развитие портовой инфраструктуры, в т.ч. позволяющей повысить технологичность и безопасность операций, снизить выбросы, является очевидным приоритетом крупных портов. Задача снижения эмиссии летучих углеводородов при операциях погрузки нефтеналивных грузов в порту всегда актуальна. Однако возможные технические и организационные решения, связанные со схемами сбора, транспортировки на берег (или без неё) и рекуперации удаляемой смеси инертных газов и нефтяных паров довольно сложны и требуют расходов.

Список литературы

1. Чура М.Н., Чура Н.Н. Техносферная безопасность: пути оценки // Лазерно - информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте (7 – 12 сентября 2020 г.) – Пенза: Изд-во ПГУ, 2020. - С. 253–255.

Loading of tankers and the influence of wind roses in the port area

Chura M.N., Gritsova A.T., Rikhter M.O., * Chura N.N.

Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 353924, Novorossiysk, Russia, Lenina avenue 93
*email: mn.chura@yandex.ru, alinka.gogoryan@mail.ru, rikhter.milana@yandex.ru, * nnchura@rambler.ru*

In recent decades, oil and oil products have accounted for the majority of cargo traffic at the port of Novorossiysk. In 2025, this new Russian record exceeded 122 million tons (73% of all cargo types). The loading of dangerous goods in such quantities is certainly a safety hazard, however, not only accidents with oil spills, potential and real, but also some processes associated with the implementation of cargo operations cause concern among the local population and require the attention of specialists [1].

During sea loading of oil, the incoming cargo displaces oil vapors and gases from the sheep's tanks. The vapor-gas mixture from the tanks can be released directly into the atmosphere or fed into a special vapor recovery system. Moreover, the volume of vapor-gas mixture removed from the tank is equal to the volume of oil entering the tank, which can be used to quantify emissions. At the port of Novorossiysk, where the main oil terminals are not new, efforts are still being made to use a vapor recovery system. Moreover, the largest terminal in Russia by transhipment volume, the CPC-R, does not have vapor recovery systems due to the significant distance of its moorings from the shore (approximately 5 km). This is the current global practice for operating single-point moorings (SPM): despite the generally low accident rates typical of such systems, vapor emissions are significant.

The vapor recovery system is economically viable because it allows for the use of valuable energy resources. However, when vapors are released into the atmosphere, even far from the coast, experts usually «shift the blame» to the wind. This is because mercaptans, which are part of the emissions, have a very pungent odor, and Novorossiysk residents periodically experience it. Mercaptans are highly volatile derivatives of hydrogen sulfide, products of the decomposition of organic matter, which is why humans have evolved a mechanism for increased sensitivity to such compounds. The odor threshold of mercaptans is extremely low, significantly below the maximum permissible concentration, which allows these substances to be used, for example, to detect household gas leaks.

The presence of mercaptans on a tanker is associated with marine inert gases, which are essential in cargo tanks to ensure fire and explosion safety. Marine diesel exhaust gases are typically used as inert gases; they temporarily inertize the hazardous oil vapor environment and are then displaced by the oil cargo when the tanker is loaded. Thus, the inert gases removed from the tanker are emitted twice. The first is as a byproduct of depleting the vessel's propulsion energy, and the second is after the safety function has been fulfilled. The first type of emission is typical for all ships, while the second is specific to oil tankers. Finding a replacement for the inert gases used, given the quantity required, is not easy (an estimate of the volume of steam-gas mixture removed from a tanker is given above).

It should be noted that Russia currently lacks a system for regulating odor levels in atmospheric air (GOST R 58578-2019). In the absence of a regulatory framework for odor, studies of industrial emissions have limited applicability and prevent environmental authorities from influencing industrial enterprises to implement measures to reduce odorous emissions. A promising approach may be to introduce local odor standards applicable to a relatively small area near the industrial enterprise whose odorous emissions negatively impact the population.

Developing port infrastructure, including improving the efficiency and safety of operations and reducing emissions, is a clear priority for major ports. Reducing volatile hydrocarbon emissions during oil loading operations at ports is always a pressing issue. However, potential technical and organizational solutions for collecting, transporting ashore (or offshore), and recovering the removed mixture of inert gases and oil vapors are quite complex and expensive.

Bibliography

1. Chura M.N., Chura N.N. Technosphere safety: ways of assessment // Laser information technologies in medicine, biology, geoecology and transport (7 – 12 september 2020). – Penza: Publishing of PSU, 2020. – P. 253–255.

УДК 621.39: 681.7.068
ГРНТИ 31.17.15
ВАК 1.3.4

Измерение параметров переходных процессов в волоконном оптическом переключателе

[1*]Шиляев И.К., [1]Кизеветтер Д.В., [1]Малюгин В.И.

[1] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

email: [*]shilyaevivan@yandex.ru, dmitrykiesewetter@gmail.com, vim@spbstu.ru

Оптические переключатели применяются в волоконно-оптических системах для конфигурирования линиях передачи данных. Принцип работы таких устройств, а также некоторые их характеристики приведены, например, в работах [1, 2], а также в техническом паспорте устройств. Для эффективного использования переключателей [3, 4] в некоторых случаях, помимо времени переключения, необходимо знать параметры переходного процесса переключения.

В данной работе исследования производились на волоконном переключателе QXHFITEBER NV-1x2 MSO 1X2 на длине волны 1550 нм при управляющем напряжении на обмотке электромагнита 5 В. Напряжение на выходе широкополосных фотоприемников регистрировалось осциллографом. Начальным моментом времени (t_0) полагали включение управляющего напряжения.

Для аппроксимации полученных временных зависимостей $U(t)$ была использована логистическая функция, как наиболее подходящая для описания подобных процессов:

$$U(t) = U_{min} + \frac{U_{max} - U_{min}}{1 + e^{\frac{t-t_0}{\tau}}} \quad (1)$$

$$U(t) = U_{min} + \frac{U_{max} - U_{min}}{1 + e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}} \quad (2)$$

Здесь U_{min}, U_{max} – минимальное и максимальное значение напряжения на выходе фотоприемников (U_1, U_2), t_0 – момент времени, соответствующий перегибу логистической функции, τ – параметр крутизны перехода. Формулы (1) и (2) отличаются знаками степеней в знаменателях: формула (1) описывает убывающую функцию, т.е. сигнал при отключении канала, (2) – возрастающую, т.е. при включении.

Аппроксимация графиков производилась в программной среде Python. Библиотека Pandas использовалась, чтобы прочитать CSV файлы с осциллографа, NumPy – для расчётов, а SciPy – для подбора коэффициентов методом наименьших квадратов. Для U_1 были подобраны такие коэффициенты: U_{min} = -0,0698 В, U_{max} = 3,7552 В, t_0 = 1,6922 мс, τ = 0,1015 мс. Для U_2: U_{min} = -0,0180 В, U_{max} = 3,3438 В, t_0 = 2,0387 мс, τ = 0,0785 мс. Показано, что логистическая функция хорошо аппроксимирует полученные зависимости: для U_1 величина R^2 составила 0,9969, а для U_2 – 0,9972.

С помощью обратного преобразования логистической функции было вычислено время переходного процесса. Процесс считался завершённым при достижении напряжения на выходе канала уровней $U_{min} + 5\%(U_{max} - U_{min})$ и $U_{min} + 95\%(U_{max} - U_{min})$ для U_1 и U_2 соответственно. Для процесса спада напряжения на выходе переключателя (U_1) $t_{5\%}$ = 1,991 мс, для процесса роста напряжения на другом выходе (U_2) $t_{95\%}$ = 2,270 мс. Следовательно, напряжение U_2 на выходе переключателя стабилизировалось на 279 мкс позже, чем U_1. Была найдена задержка процесса для обоих случаев t_{delay}. Она равна промежутку времени между подачей управляющего напряжения и $t_{95\%}$ (для U_1) или $t_{5\%}$ (для U_2). Учитывая, что в момент подачи напряжения t = 0, для U_1: t_{delay} = 1,400 мс, для U_2: t_{delay} = 1,808 мс. Из этого следует, что процесс роста напряжения U_2 на выходе начался на 408 мкс позже, чем начался спад напряжения U_1.

Полученные данные могут быть использованы при проектировании волоконно-оптических систем и позволят более эффективно использовать данный оптический переключатель.

Список литературы

1. Ai Qun Liu, Franck Alexis Chollet, Anand Krishna Asundi, et al. Micro-electro-mechanical fiber optical switches. Proc. SPIE 3897, Advanced Photonic Sensors and Applications, 1999, vol. 3897, pp. 380-387.

2. Shi-Sheng Lee, Long-Sun Huang, Chang-Jin Kim and M. C. Wu. Free-space fiber-optic switches based on MEMS vertical torsion mirrors., Journal of Lightwave Technology, 1999, vol. 17, no. 1, pp. 7-13.

3. Olmos J. J. V., Rodes G. and Monroy I. T. Optical switching for dynamic distribution of wireless-over-fiber signals in active optical networks. Journal of Optical Communications and Networking, 2012, vol. 4, no. 8, pp. 622-627.

4. Pan B., Wang Y., Liu Z., Yan F., Zhang J. and Zhang J. An All-Optical Metro Network with Hybrid Optical Circuit Switching and Optical Time-Slot Switching for Heterogeneous Access Services. IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 2025, vol. 12, no. 6, pp. 5045-5057.

Measurement of transient parameters in a fiber optical switch

[1*]Shilyaev I.K., [1]Kiesewetter D.V., [1]Malyugin V.I.

[1] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya, 29
email: [*]shilyaevivan@yandex.ru, dmitrykiesewetter@gmail.com, vim@spbstu.ru

Optical switches are used in fiber-optic systems to configure data transmission lines. The principle of operation of such devices, as well as some of their characteristics, are given, for example, in [1, 2], as well as in the technical data sheet of the devices. In order to use switches effectively [3, 4], in some cases, in addition to the switching time, it is necessary to know the parameters of the switching transition process.

In this work, a QXHFITEBER NV-1x2 MSO 1X2 fiber-optic switch was studied at a wavelength of 1550 nm at the control voltage across the electromagnet winding of 5 V. The output voltage of broadband photodetectors was recorded by an oscilloscope. The initial moment of time (t_0) was assumed to be the activation of the control voltage.

The logistic function was used as the most suitable for describing such processes to approximate the obtained time dependences $U(t)$:

$$U(t) = U_{min} + \frac{U_{max} - U_{min}}{1 + e^{\frac{t-t_0}{\tau}}} \quad (1)$$

$$U(t) = U_{min} + \frac{U_{max} - U_{min}}{1 + e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}} \quad (2)$$

Here U_{min}, U_{max} are the minimum and maximum voltage values at the output of the photodetectors (U_1, U_2), t_0 is the time point corresponding to the bend of the logistic function, and τ is the steepness parameter of the transition. Formulas (1) and (2) differ in the signs of the degrees in the denominators: formula (1) describes a decreasing function, i.e. the signal when the channel is turned off, (2) – an increasing function, i.e. when it is turned on.

The graphs were approximated in the Python software environment. The Pandas library was used to read CSV files from an oscilloscope, NumPy was used for calculations, and SciPy was used to select coefficients using the least squares method. The following coefficients were selected for U_1: U_{min} = -0,0698 V, U_{max} = 3,7552 V, t_0 = 1,6922 ms, τ = 0,1015 ms. For U_2: U_{min} = -0,0180 V, U_{max} = 3,3438 V, t_0 = 2,0387 ms, τ = 0,0785 ms. It is shown that the logistic function approximates the obtained dependences well: for U_1, the value of R^2 was 0.9969, and for U_2 – 0.9972.

The time of the transition process was calculated using the inverse transformation of the logistic function. The process was considered completed when the channel output voltage reached the levels of U_{min} + 5%$(U_{max} - U_{min})$ and U_{min} + 95%$(U_{max} - U_{min})$ for U_1 and U_2, respectively. For the process of voltage drop at the switch output (U_1) $t_{5\%}$ = 1,991 ms, for the process of voltage rise at the other output (U_2) $t_{95\%}$ = 2,270 ms. Consequently, the voltage U_2 at the switch output stabilized 279 μs later than U_1. The delay in the process was found for both t_{delay} cases. It is equal to the time interval between applying the control voltage and $t_{95\%}$ (for U_1) or t5% (for U_2). Considering that at the moment of voltage supply t = 0, for U_1: t_{delay} = 1,400 ms, for U_2: t_{delay} = 1,808 ms. It follows from this that the process of voltage rise U_2 at the output began 408 μs later than the voltage drop U_1 began.

The data obtained can be used in the design of fiber-optic systems and will allow for more efficient use of this optical switch.

References

1. Ai Qun Liu, Franck Alexis Chollet, Anand Krishna Asundi, et al. Micro-electro-mechanical fiber optical switches. Proc. SPIE 3897, Advanced Photonic Sensors and Applications, 1999, vol. 3897, pp. 380-387.

2. Shi-Sheng Lee, Long-Sun Huang, Chang-Jin Kim and M. C. Wu. Free-space fiber-optic switches based on MEMS vertical torsion mirrors., Journal of Lightwave Technology, 1999, vol. 17, no. 1, pp. 7-13.

3. Olmos J. J. V., Rodes G. and Monroy I. T. Optical switching for dynamic distribution of wireless-over-fiber signals in active optical networks. Journal of Optical Communications and Networking, 2012, vol. 4, no. 8, pp. 622-627.

4. Pan B., Wang Y., Liu Z., Yan F., Zhang J. and Zhang J. An All-Optical Metro Network with Hybrid Optical Circuit Switching and Optical Time-Slot Switching for Heterogeneous Access Services. IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 2025, vol. 12, no. 6, pp. 5045-5057.

УДК 621.373.826
ГРНТИ 29.33.15
ВАК 01.04.21

Активные среды на переходах атома марганца с мощностью излучения до 5 Вт.

Шиянов Д.В.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева 1
e-mail: shiyanov73@mail.ru.

Лазер на парах марганца эффективно излучает на нескольких линиях в видимой (534.1 - 553.8 нм) и ИК области спектра (1.289 - 1.399 мкм.). Исследование его энергетических характеристик в чистом металле привели к тому, что в [1] с буферным газом гелием была достигнута максимальная суммарная мощность излучения 12 Вт в ГРТ с объемом активной зоны 204 $см^3$ (диаметр 2 см) и мощностью накачки 3.72 кВт. Было установлено, что активная среда марганца обладает большим коэффициентом усиления. Для усилителя объемом 225 $см^3$ коэффициент усиления в видимой области спектра достигал значения 0.2 $см^{-1}$ [2]. Это позволило использовать эту среду в качестве усилителя яркости изображений [3, 4].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании оптимальных режимов работы и достижении высоких удельных параметров генерации в низкотемпературном аналоге - галогенидах марганца ($MnCl_2$, $MnBr_2$).

В работе исследовались газоразрядные трубки с объемом активной зоны 157 $см^3$ (длина 50 см, диаметр 2 см). Конструкция этих активных элементов описана в работах [3, 4]. Каждая трубка была оснащена реверсивным генератором галогеноводорода (HCl, HBr) для увеличения выходной мощности лазера.

При исследовании $MnCl_2$ и $MnBr_2$-лазеров было установлено, что изменение температуры рабочего канала (780-800^{0}C) на 50^{0}C приводит к снижению мощности генерации более, чем в 2 раза. Оптимальные частоты в схеме с диодно-резонансной зарядкой составляют 16-21 кГц. Оптимальное значение давления буферного газа He и Ne для этих лазеров составляет порядка 15-25 мм рт. ст., причем мощности обоих лазеров с этими газами сопоставимы. Введение добавки хлороводорода и бромводорода в исследуемые активные среды в количестве 0.2 мм рт. ст. способствует увеличению мощности генерации.

Для повышения мощности накачки и напряжения использовалась двухкаскоадная схема с импульсным зарядом рабочей емкости и импульсным автотрансформатором. Суммарная частота следования импульсов составляла 14 кГц, рабочие емкости от 1.5 до 3.3 нФ. Увеличение мощности генерации до 2 кВт позволило нам в $MnBr_2$+HBr-лазере, работающего с ЧСИ 14 кГц достичь мощности 5 Вт с КПД 0.25%. При этом удельные характеристики генерации составили 32 $мВт/см^3$ и 2.2 $мкДж/см^3$, а мощность генерации в ИК области спектра 1-1.4 Вт.

Полученные результаты показали отсутствие насыщения мощности генерации исследуемых лазеров при увеличении мощности накачки, что говорит об их дальнейшем потенциале для практического применения.

Список литературы

1. Исаков В.К. Исследование усиления активных сред на переходах атомов марганца // Квантовая электроника 1984. Т. 11. № 4. С. 666-672.

2. Исаков В.К., Потапов С.Е. Исследование генерации активных сред на переходах атомов марганца // Квантовая электроника. 1983. Т. 10. №3. С. 588-597.

3. Тригуб М.В., Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Петухов Т.Д., Евтушенко Г.С. Усилитель яркости на переходах атома марганца с частотой следования импульсов до 100 кГц // Письма в ЖТФ. 2018. Т. 44. Вып. 24. С. 135-142.

4. Тригуб М.В., Гембух П.И., Васнев Н.А., Шиянов Д.В. Лазерный монитор для одновременной визуализации в видимом и ИК-диапазонах спектра // Оптика атмосферы и океана. 2023. Т.36. № 3. С. 239–243.

Active media on transitions of manganese atoms with radiation power up to 5 W.

Shiyanov D.V.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 634055, Russia, Tomsk, 1, Academician Zuev square
E-mail: shiyanov73@mail.ru

The manganese vapor laser efficiently emits on several lines in the visible (534.1 - 553.8 nm) and IR spectral regions (1.289 - 1.399 μm). The study of its energy characteristics in pure metal led to the fact that in [1] with helium buffer gas, the maximum total radiation power of 12 W was achieved in a GDT with an active zone volume of 204 cm3 (diameter 2 cm) and a pump power of 3.72 kW. It was found that the manganese active medium has a high gain. For an amplifier with a volume of 225 cm3, the gain in the visible spectrum reached a value of 0.2 cm^{-1} [2]. This made it possible to use this medium as an image brightness amplifier [3, 4].

The aim of this study was to investigate optimal operating conditions and achieve high specific generation parameters in a low-temperature analog - manganese halides ($MnCl_2$, $MnBr_2$).

We investigated gas-discharge tubes with an active zone volume of 157 cm^3 (length 50 cm, diameter 2 cm). The design of these active elements is described in [3, 4]. Each tube was equipped with a reversible hydrogen halide (HCl, HBr) generator to increase the laser output power.

In a study of $MnCl_2$ and $MnBr_2$ lasers, it was found that changing the working channel temperature (780-800°C) by 500°C leads to a more than halving of the output power. Optimal frequencies in the diode-resonant charging circuit are 16-21 kHz. The optimal He and Ne buffer gas pressure for these lasers is approximately 15-25 mmHg, with the output power of both lasers using these gases being comparable. Adding 0.2 mmHg of hydrogen chloride and hydrogen bromide to the active media under study increases the output power.

To increase the pump power and voltage, a two-cascade design with pulsed charging of the working capacitor and a pulsed autotransformer was used. The total pulse repetition rate was 14 kHz, and the working capacitors ranged from 1.5 to 3.3 nF. Increasing the lasing power to 2 kW allowed us to achieve a power of 5 W with an efficiency of 0.25% in a $MnBr_2$+HBr laser operating at a pulse repetition rate of 14 kHz. Specific lasing characteristics were 32 mW/cm3 and 2.2 μJ/cm3, and the lasing power in the IR spectral region was 1-1.4 W.

The obtained results showed that the lasing power of the studied lasers did not saturate with increasing pump power, indicating their potential for future practical applications.

References

1. Isakov V.K., Potapov S.E. Investigation of lasing in active media utilizing transitions in manganese atoms. Sov. J. Quantum. Electron. 1983. Vol. 13. N 3. P. 348–354.

2. V.K. Isakov. Investigation of the gain of active media utilizing transitions in manganese atoms. Sov. J. Quantum. Electron. 1984. Vol. 14. N 4. P. 452–456.

3. Trigub M.V., Shiyanov D.V., Sukhanov V.B. et al. A Brightness Amplifier on Manganese Atom Transitions with a Pulse Repetition Frequency of up to 100 kHz. Tech. Phys. Lett. 2018. Vol. 44. P. 1180–1183.

4. Trigub M.V., Gembukh P.I., Vasnev N.A., Shiyanov D.V. Laser Monitor for Simultaneous Imaging in the VIS and Near-IR Spectral Regions // Atmospheric and Oceanic Optics. 2023. Vol. 36. N 4. P. 415–420.

УДК 544.016.2, 538.911
ГРНТИ 31.15.25, 29.19.15
ВАК 1.4.4, 1.3.8

Исследование и построение диаграммы состояния системы $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ – TlI

[1] Южаков И. В., [1] Кабыкина Е. Ю., [1] Салимгареев Д. Д., [1*] Жукова Л. В.

[1] Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 19

E-mail: [*] l.v.zhukova@urfu.ru

Для научного и технического развития волоконной оптики, инфракрасной (ИК) спектроскопии, а также создания современных детектирующих устройств необходима широкая база оптических материалов, обладающих широким диапазоном пропускания, а также высокими сцинтилляционными характеристиками. Такими материалами могут стать монокристаллы и оптическая керамика на основе системы $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ – TlI, в перспективе обладающие фото- и радиационной стойкостью, высокой прозрачностью в ИК области без окон поглощения, а также ярко выраженной сцинтилляцией при добавлении активирующей добавки Tl^+.

Первым этапом получения новых материалов является изучение температурных переходов составов системы $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ – TlI, которое проводилось методом дифференциально-термического анализа (ДТА) [1]. Диапазон концентраций образцов составил 0–100 мас. % TlI в $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ с шагом 10 мас. %. От 0 до 10 мас. % и от 90 до 100 мас. % TlI в $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ шаг сокращался до 1–2 мас. % для уточнения фазовых переходов. Весь процесс был реализован при температуре от 25 до 550 °C. Для определения фазовых составов областей диаграммы использовался рентгенофазовый анализ (РФА) на установке Rigaku MiniFlex 600 [2].

По результатам ДТА и РФА анализов была построена и изучена фазовая диаграмма системы $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ – TlI, характеризующаяся ограниченной растворимостью в твердой фазе и неограниченной растворимостью в жидкой. Диаграмма состояния содержит две области гомогенности в диапазонах от 0 до 6 мол. % и от 95 до 98 мол. % TlI в $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$. В первой области происходит образование соединения пространственной группы Fm3m (типа NaCl). Вторая область характеризуется пространственной группой Pm3m (типа CsCl). В этих областях возможно получение стабильных при комнатной температуре монокристаллов. В диапазоне концентраций от 98 до 100 мас. % TlI в $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ при 25–175 °C находится низкотемпературная ромбическая модификация йодида таллия Cmcm. Также на диаграмме состояния существуют три области гетерогенности: область от 6 до 38 мол. % TlI в $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ при температурах 25–124 °C, содержащая кубическую Fm3m и ромбоэдрическую R-3 фазы; в концентрационном диапазоне от 38 до 71 мол. % TlI в $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ в интервале температур от 25 до 149 °C с формированием механической смеси двух ромбоэдрических фаз R-3 и от 71 до 95 мол. % TlI в $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ при температурах 25–245 °C, в которой находятся кубическая Pm3m и ромбоэдрическая R-3 фазы. Области от 6 до 38 мол. % и от 71 до 95 мол. % TlI в $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ подходят для синтеза стабильной при комнатной температуре новой оптической двухфазной керамики системы $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$ – TlI.

Исследование диаграммы состояния позволило продолжить изучение новых материалов на основе галогенидов серебра и одновалентного (I) таллия, определить параметры технологии получения монокристаллов методом Бриджмена и синтеза оптической керамики методом направленной кристаллизации для дальнейшего определения их функциональных свойств.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-13-00506, https://rscf.ru/project/25-13-00506/.

Список литературы

1. Zhu Y.T. Application of differential thermal analysis to solid-solid transitions in phase diagram determination / Zhu Y.T., Devletian J.H., Manthiram A. // Journal of Phase Equilibria. – 1994. – No. 15. – P. 37–41.

2. Montanari R. High-temperature XRD investigations on phase transformations // La Metallurgia Italiana, No. 2, 2004. P. 23–30.

Investigation and building of the phase diagram of the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI system

Yuzhakov I. V., Kabykina E. Y., Salimgareev D. D., * Zhukova L. V.

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, St. Mira 19

*E-mail: * l.v.zhukova@urfu.ru*

For the scientific and technical development of optical fibers, infrared (IR) spectroscopy and the production of modern detecting devices, a large number of optical materials with a wide transmission range and high scintillation characteristics is necessary. Such materials could include single crystals and optical ceramics based on the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI system, which in the future will exhibit photo- and radiation resistance, high transparency in the IR region without absorption windows and pronounced scintillation with the activating additive Tl^+.

The first step in obtaining new materials is to study the temperature transitions of the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI system compositions, which was carried out using differential thermal analysis (DTA) [1]. The sample concentration range was 0–100 wt. % TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ with a step of 10 wt. %. From 0 to 10 wt. % and from 90 to 100 wt. % TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ the step was reduced to 1–2 wt. % to clarify the phase transitions. The entire process was performed at temperatures from 25 to 550 °C. To determine the phase compositions of the diagram regions, X-ray phase analysis (XRD) was used on a Rigaku MiniFlex 600 setup [2].

Based on the results of DTA and XRD analyses, a phase diagram of the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI system was built and studied, characterized by limited solubility in the solid phase and unlimited solubility in the liquid phase. The phase diagram contains two homogeneity regions in the ranges from 0 to 6 mol. % and from 95 to 98 mol. % TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$. In the first region, a compound of the Fm3m space group (NaCl type) is formed. The second region is characterized by the Pm3m space group (CsCl type). In these regions, it is possible to obtain single crystals stable at room temperature. The low-temperature orthorhombic modification of thallium iodide Cmcm is found in the concentration range from 98 to 100 wt. % TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ at 25–175 °C. There are also three heterogeneity regions on the phase diagram: the region from 6 to 38 mol. % TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ at temperatures of 25–124 °C, containing cubic Fm3m and rhombohedral R-3 phases; in the concentration range from 38 to 71 mol. % TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ in the temperature range from 25 to 149 °C with the formation of a mechanical mixture of two rhombohedral R-3 phases and from 71 to 95 mol. % TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ at temperatures of 25–245 °C, which contains the cubic Pm3m and rhombohedral R-3 phases. The regions from 6 to 38 mol. % and from 71 to 95 mol. % TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ are suitable for the synthesis of a new optical two-phase ceramic of the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI system that is stable at room temperature.

The investigation of the phase diagram allowed us to continue the study of new materials based on silver halides and monovalent (I) thallium, determine the parameters of the Bridgman single-crystal production technology, and synthesize optical ceramics using directional crystallization to further functional properties characterization.

The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 25-13-00506, https://rscf.ru/project/25-13-00506/.

References

1. Y. T. Zhu, J. H. Devletian and A. Manthiram, “Application of differential thermal analysis to solid-solid transitions in phase diagram determination,” Journal of Phase Equilibria. – 1994. – No.15. P. 37–41.

2. R. Montanari, “High-temperature XRD investigations on phase transformations,” La Metallurgia Italiana, No. 2, 2004, p. 23–30.

УДК 538.958, 535.311, 535.8
ГРНТИ 29.19.25
ВАК 1.3.6

Влияние ультрафиолетового облучения на оптическое пропускание соединений системы $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI

[1] Южаков И. В., [1] Малышкина Е. Н., [1] Вольхина Е. А., [1] Южакова А. А., [1*] Жукова Л. В.

[1] Уральский федеральный университет, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 19
email: [*]l.v.zhukova@urfu.ru

Монокристаллы и керамика на основе галогенидов металлов являются одними из наиболее широко прозрачных оптических материалов (от 0,4 до 60,0 мкм), негигроскопичных и пластичных, что делает их перспективными для оптических и оптоэлектронных систем инфракрасного (ИК) диапазона, в том числе лазерных технологий. Однако образцам на основе галогенидов серебра присущ такой недостаток, как фоточувствительность, вследствие которой под действием солнечного излучения на поверхности материалов выделяется коллоидное серебро, тем самым разрушая образец и нарушая оптическую прозрачность. Более устойчивыми к ультрафиолету (УФ) монокристаллами являются галогениды таллия, но из-за склонности к рекристаллизации зерен в поликристаллических изделиях из них происходит укрупнение зерна и разрушение образца. Многочисленные исследования авторов [1] показали, что объединение галогенидов серебра и таллия способствует сохранению пластичности материалов, при этом происходит уширение диапазона спектрального пропускания и повышение фотостойкости, а также рост микротвердости, что благоприятно влияет на функциональные возможности и срок эксплуатации изделий из подобных соединений.

В недавнее время была изучена система твердых растворов $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI и получена серия составов монокристаллов и керамики из них: 0,5, 2, 3, 6, 15, 32, 73, 85, 97 мол. % TlI в $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$. Соединения не обладали чрезвычайно широким диапазоном пропускания из-за высокой доли хлорида серебра в своем составе: 0,4–45 мкм, однако уровень пропускания в ИК области превышал 80%, что свидетельствует о высокой прозрачности и относительно низком показателе преломления материалов. Помимо прочего йодид таллия является сцинтилляционной добавкой [2], введение которой приводит к эмиссии образцов в видимой и ближней ИК области. Совокупность этих факторов делает соединения системы $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI практически значимыми представителями материалов пропускающей оптики.

Из-за высокого содержания хлора в граничном твердом растворе $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ возможна высокая чувствительность к УФ облучению монокристаллов и керамики на основе $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI. Чтобы оценить УФ-устойчивость образцов было проведено исследование оптического пропускания после воздействия на образцы из монокристаллов и керамики излучением длиной волны 260–370 нм, мощностью 2 Вт в течение 20, 20, 50, 170 и 530 минут. При проведении исследования использовались ИК-Фурье спектрометр IRPrestige-21, Shimadzu и ультрафиолетовая лампа. Сначала проводились прогрев оборудования в течении 1 часа и его калибровка; после в программе IR Solution указывались диапазон регистрации спектра от 240 до 6400 $см^{-1}$, разрешение (шаг сканирования) 4 $см^{-1}$ и количество сканирований 10; далее регистрировался кюветный держатель с пластинкой, не подверженной УФ-излучением; после началась регистрация пластинки, подверженной УФ-излучению после каждого этапа облучения.

В результате были получены спектры изменения оптического пропускания материалов разных структуры и состава. Результаты показали, что с увеличением времени от 20 до 530 минут наблюдается монотонное снижение интенсивности оптического пропускания. Наиболее интенсивные изменения происходят в интервале до 10 мкм, после чего спектры незначительно меняются в зависимости от времени облучения. Это связано с образованием коллоидного серебра на поверхности образцов, размеры агломератов которого пренебрежимо малы для излучения средней и дальней ИК области. В спектрах некоторых облученных образцов зафиксировано повышение пропускания, связанное с образованной коллоидным серебром микроструктурой, что приводит к просветлению поверхности. Совокупное снижение пропускания во всех образцах не превышало 20 %, что говорит о высокой фотостойкости материалов системы $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI.

В ходе работы методом ИК-Фурье спектроскопии исследована кинетика изменения оптического пропускания материалов различной структуры и состава под воздействием УФ-

излучения во временном диапазоне от 20 до 530 минут. Установлено, что УФ-облучение вызывает направленные физико-химические превращения в структуре образцов, регистрируемые по изменению интенсивности характеристических полос в интервале 240–6400 $см^{-1}$. Полученные спектральные данные показали фотостабильность исследованных материалов и могут быть использованы для прогнозирования сроков их службы при эксплуатации в условиях УФ-нагрузки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-13-00506.

Список литературы

1. Yuzhakova A. A. Optical properties of crystalline materials based on AgCl0.25Br0.75 – TlCl0.74Br0.26 and AgCl0.25Br0.75 – TlBr0.46I0.54 systems / Yuzhakova A., Lvov A., Salimgareev D., Pestereva P., Yuzhakov I., Kondrashin V., Kabykina E., Kucherenko F., Zhukova L. // Ceramics International, № 50, 2024. P. 21767–21778.

2. Zhukova L. Crystalline scintillator Liya-3 / Zhukova L., Shulgin B., Zhukov V., Gorkunova S., Raykov D., Chazov A., Sergeev A. // Russian Federation Patent 2284044, 2006.

The UV-influence on the optical transmittance of $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI system compounds

[1] Yuzhakov I. V., [1] Malyshkina E. N., [1] Volhina E. A., [1] Yuzhakova A. A., [1*] Zhukova L. V.

[1] Ural Federal University named after B.N. Yeltsin, 620062, Russia, Yekaterinburg, 19 Mira St.
email: [*] l.v.zhukova@urfu.ru

Halide-based single crystals and ceramics are among the most common transparent optical materials (operating in the 0.4–60.0 μm range); their non-hygroscopic and flexible nature makes them promising candidates for infrared (IR) optical and optoelectronic systems, including laser technologies. However, silver-halide-based samples suffer from photosensitivity: exposure to ultraviolet (UV) radiation causes the precipitation of colloidal silver on the material surface, which represents a significant drawback and affects optical transparency. Thallium halides are more resistant to UV radiation; however, their tendency toward grain recrystallization in polycrystalline forms leads to particle coarsening and sample failure. Numerous studies [1] have demonstrated that combining silver and thallium halides helps preserve material ductility while enhancing spectral transmission, photostability, and microhardness—properties that favorably influence current characteristics and service life.

The $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$–TlI solid solution system has recently been investigated, yielding a series of single-crystal and ceramic compositions containing 0.5, 2, 3, 6, 15, 32, 73, 85, and 97 mol % TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$. Due to the high silver chloride content, the compounds did not exhibit an exceptionally broad transmission range (0.4–45 μm); however, infrared transmission exceeded 80%, indicating high transparency and a relatively low refractive index. Among other things, thallium iodide acts as a scintillation additive [2], the incorporation of which results in emission from the samples in the visible and near-infrared regions. These factors make compounds of the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI system significant representatives of transmissive optical materials. Due to the high chlorine content in the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ solid solution, single crystals and ceramics based on the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ –TlI system may exhibit high sensitivity to UV radiation. To evaluate the UV stability of the samples, optical transmission was measured after exposing single-crystal and ceramic specimens to radiation with a wavelength of 260–370 nm and a power of 2 W for durations of 20, 20, 50, 170, and 530 min.

The study employed a Shimadzu IRPrestige-21 FTIR spectrometer and an UV lamp. First, the equipment was warmed up for one hour and calibrated. In the IR Solution software, the spectral acquisition range was set to 240–6400 cm^{-1}, the resolution (scan step) to 4 cm^{-1}, and the number of scans to 10. Next, the cuvette holder with a plate not exposed to UV radiation was recorded. Recording of a plate exposed to UV radiation after every irradiation step.

As a result, spectra representing changes in the optical transmission of materials with varying structures and compositions were obtained. The results showed a monotonic decrease in optical transmission intensity as the duration increased from 20 to 530 minutes. The most significant changes occurred in the range up to 10 μm, after which the spectra showed only slight variations depending on the irradiation time. This is attributed to the formation of colloidal silver on the sample surfaces, with agglomerate sizes that are negligibly small relative to mid- and far-IR. An increase in transmission – linked to the microstructure formed by the colloidal silver and resulting in surface anti-reflection—was observed in the spectra of some irradiated samples. The overall reduction in transmission across all samples did not exceed 20%, indicating

the high photostability of materials in the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI system. Using Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy, the kinetics of changes in the optical transmission of materials with varying structures and compositions were investigated under UV irradiation over a time range of 20 to 530 minutes. It was established that UV irradiation induces specific physicochemical transformations within the sample structures, which are detected through changes in the intensity of characteristic bands in the 240–6400 cm^{-1} range. The obtained spectral data demonstrated the photostability of the materials studied and can be used to predict their service life under conditions of UV exposure.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant № 25-13-00506.

References

1. Yuzhakova A. A. Optical properties of crystalline materials based on AgCl0.25Br0.75 – TlCl0.74Br0.26 and AgCl0.25Br0.75 – TlBr0.46I0.54 systems / Yuzhakova A., Lvov A., Salimgareev D., Pestereva P., Yuzhakov I., Kondrashin V., Kabykina E., Kucherenko F., Zhukova L. // Ceramics International, № 50, 2024. P. 21767–21778.

2. Zhukova L. Crystalline scintillator Liya-3 / Zhukova L., Shulgin B., Zhukov V., Gorkunova S., Raykov D., Chazov A., Sergeev A. // Russian Federation Patent 2284044, 2006.

УДК 544.2, 544.01, 544.016
ГРНТИ 29.19.15, 31.15.17
ВАК 1.4.4, 2.6.7

Оптические свойства твердых растворов системы $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI

[1] Южаков И. В.,[1] Салимгареев Д. Д., [1*] Жукова Л. В.

[1]Уральский Федеральный Университет, 620062, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 19
*email: * l.v.zhukova@urfu.ru*

Прогресс в области инфракрасной оптики требует разработки материалов с высокими функциональными характеристиками. Кристаллические и керамические материалы на основе галогенидов серебра и таллия(I) в зависимости от фазового состава и структуры характеризуются широкой областью спектрального пропускания (от 0,4 до 60,0 мкм) при отсутствии окон поглощения, а также сочетают негигроскопичность, устойчивость к ультрафиолетовому и ионизирующему излучению с пластичностью. Совокупность указанных свойств обеспечивает возможность изготовления на их основе оптических волокон [1].

Для получения оптических материалов на первом технологическом этапе проводится синтез высокочистой шихты. Для этого используется метод термозонной кристаллизации-синтеза (ТЗКС), позволяющий провести глубокую очистку исходных компонентов, а также синтезировать исходный твердый раствор [2]. Маточный раствор для каждой системы подбирается индивидуально по результатам модели (балансовые уравнения), фундаментальной основой которой является установление стехиометрии химических превращений в жидкой фазе. В качестве оптимального маточного раствора была принята кислота HCl с рабочей кислотностью (молярностью) 5 М. Важным преимуществом смешанного маточного раствора является его устойчивость к технологическим отклонениям. При перегреве, недостаточном нагреве или неравномерном осаждении использование бинарной кислотной среды способствует более равномерному распределению галогенидов по фазам, минимизируя отклонения от целевого состава. Используя данный маточный раствор проведен синтез шихты составов 0,5, 2, 3, 6, 15, 32, 52, 73, 85 и 97 мол. % TlI в $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$.

На основе полученной шихты с применением метода направленной кристаллизации в печи конструкции Бриджмена были выращены монокристаллы составов 0,5, 2, 3, 6 и 97 мол. % TlI в $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$, а также из расплава синтезирована оптическая керамика составов 15, 32, 52, 73 и 85 мол. % TlI в $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$.

Для регистрации диапазона спектрального пропускания образцов были изготовлены плоскопараллельные поликристаллические пластины толщиной 350±5 мкм, диаметром 15±1 мм и шероховатостью Ra = 0,2 мкм, Rz = 1 мкм. Диапазон пропускания монокристаллических материалов со структурой NaCl (Fm3m) охватывает от 0,45 до 35,0 мкм и практически не изменяется при введении в решетку твердого раствора $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ иодида одновалентного таллия. Монокристаллический образец со структурой CsCl (Pm3m) пропускает излучение в диапазоне длин волн 0,6–45,0 мкм. По сравнению с монокристаллическими образцами, в керамических материалах с матрицей NaCl с увеличением доли легирующего компонента (TlI) наблюдается снижение уровня прозрачности. Данный эффект обусловлен возрастанием объёмной доли легирующей фазы с ромбоэдрической сингонией (R-3), что вызывает формирование структурных неоднородностей. Наличие таких неоднородностей приводит к рассеянию излучения на межфазных границах раздела, что в свою очередь приводит к снижению оптического пропускания. Зависимость характерна для всех керамических образцов, независимо от типа матрицы (NaCl либо CsCl). При этом диапазон пропускания данных материалов лежит в диапазоне 0,45–40,0 мкм, т. е. практически не отличается от монокристаллов.

Спектральный анализ показал, что рассчитанные маточные растворы оптимальны и позволяют получать монокристаллы с высоким оптическим качеством. Керамики с незначительным содержанием пространственной группы R-3 также обладают приемлемым пропусканием, что допускает их использование в пропускающей оптике.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-13-00506.

Список литературы

1. Жукова Л. В. Инфракрасные кристаллы. Теория и практика: учебник / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, Д. Д. Салимгареев. – Екатеринбург : Издательство УМЦ УПИ, 2015. – 215 с.

2. Salimgareev D. Development and optimization of solid solution synthesis based on metal halides of two crystalline classes / D. Salimgareev, A. Lvov, P. Pestereva, D. Vorobyeva, E. Kabykina, A. Yuzhakova, L. Zhukova // Journal of Crystal Growth. – 2026. – Vol. 680. – P. 128516.

Optical Properties of Solid Solutions in the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ – TlI System

[1] Yuzhakov I. V., [1] Salimgareev D. D., [1*] Zhukova L.V.

[1] Ural Federal University, 620062, Russia, Yekaterinburg, 19 Mira Street

email: * l.v.zhukova@urfu.ru

Progress in the field of infrared optics requires the development of materials with high functional characteristics. Crystalline and ceramic materials based on silver and thallium(I) halides, depending on phase composition and structure, are characterized by a wide spectral transmission range (from 0.4 to 60.0 μm) with no absorption windows, and also combine non-hygroscopicity, resistance to ultraviolet and ionizing radiation with plasticity. The combination of these properties makes it possible to manufacture optical fibers based on them [1].

To obtain optical materials (single crystals and optical ceramics), the first technological stage involves the synthesis of high-purity charge. For this purpose, the method of thermal zone crystallization-synthesis (TZCS) is used, which allows deep purification of the initial components as well as synthesis of the initial solid solution. The mother solution for each system is selected individually based on the results of a model (balance equations); its fundamental basis is the establishment of the stoichiometry of chemical transformations in the liquid phase. A HCl acid with a working acidity (molarity) of 5 M was adopted as the optimal mother solution. An important advantage of the mixed mother solution is its stability against technological deviations. In the case of overheating, insufficient heating, or uneven precipitation, the use of a binary acid medium promotes a more uniform distribution of halides among the phases, minimizing deviations from the target composition. Using this mother solution, the synthesis of charge of compositions 0.5, 2, 3, 6, 15, 32, 52, 73, 85, and 97 mol. % TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ was carried out.

Based on the obtained charge, single crystals of compositions 0.5, 2, 3, 6, and 97 mol% TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ were grown using the method of directional crystallization in a Bridgman furnace, and optical ceramics of compositions 15, 32, 52, 73, and 85 mol% TlI in $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ were synthesized from the melt.

To register the spectral transmission range of the obtained single-crystal and ceramic samples, plane-parallel polycrystalline plates 350 ± 5 μm thick, 15 ± 1 mm in diameter, and with surface roughness Ra = 0.2 μm, Rz = 1 μm were fabricated from them by hot pressing. The transmission range of single-crystal materials with the NaCl structure ($Fm\bar{3}m$) covers from 0.45 to 35.0 μm and remains virtually unchanged when thallium(I) iodide is introduced into the lattice of the $AgCl_{0.75}Br_{0.25}$ solid solution. The single-crystal sample with the CsCl structure ($Pm\bar{3}m$) transmits radiation in the wavelength range from 0.6 to 40.0–45.0 μm. Compared to single-crystal samples, in ceramic materials with the NaCl matrix, an increase in the fraction of the doping component (TlI) leads to a decrease in the transparency level. This effect is caused by an increase in the volume fraction of the doping phase with rhombohedral symmetry (R-3), which induces the formation of structural inhomogeneities. The presence of such inhomogeneities leads to radiation scattering at the interphase boundaries, which, in turn, leads to a decrease in optical transmission. This dependence is characteristic of all ceramic compositions, regardless of the matrix type (NaCl or CsCl). At the same time, the transmission range of these materials lies from 0.45–0.6 to 35.0–40.0 μm, i.e., it is practically no different from that of single crystals.

Spectral analysis showed that the calculated mother solutions are optimal and allow obtaining single crystals with high optical quality. Ceramics with an insignificant content of the R-3 space group also exhibit acceptable transmission, which allows their use in transmission optics.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant № 25-13-00506.

References

1. L. V. Zhukova, A. S. Korsakov, D. D. Salimgareev, “Infrared Crystals: Theory and Practice,” Textbook. - Yekaterinburg: UMC UPI Publishing House, 2015. - 215 p.

2. Salimgareev D. Development and optimization of solid solution synthesis based on metal halides of two crystalline classes / D. Salimgareev, A. Lvov, P. Pestereva, D. Vorobyeva, E. Kabykina, A. Yuzhakova, L. Zhukova // Journal of Crystal Growth. – 2026. – Vol. 680. – P. 128516.

УДК 535-7, 535-15
ГРНТИ 29.31.21
ВАК 1.3.6

Повышение оптических характеристик ИК световодов за счет термической обработки

[1] Южакова А. А., [1] Барыкина С. Е., [1*] Жукова Л. В.

[1] Уральский Федеральный Университет, 620062, Россия,г. Екатеринбург, ул. Мира 19
email: [*] l.v.zhukova@urfu.ru

Инфракрасные (ИК) световоды на основе галогенидов металлов представляют собой поликристаллические оптические изделия диаметром 110–1120 мкм и длиной до 3,5 м [1, 2]. Они изготавливаются из монокристаллических заготовок заданного состава путем экструзии при температуре 170–200 °С, что возможно благодаря пластичности монокристаллов и керамики. В случае производства световодов из кристаллов в процессе экструзии структура заготовки меняется из монокристаллической в поликристаллическую со средним размером зерна от 100 до 1000 нм [1, 2]. Это негативно сказывается на диапазоне спектрального пропускания, который в области видимого –ИК диапазона сдвигается до 2 мкм.

Недавние исследования динамического механического анализа [1] показали, что при нагреве заготовки со скоростью 5 °С/мин до температуры 90–100 °С происходит восстановление структуры кристаллической заготовки. Далее, до 150–160 °С наблюдается плато высокоэластичного состояния, после чего дальнейший нагрев приводит к высокоэластичному состоянию, при котором возможна экструзия. Это означает, что, во-первых, скорость нагрева влияет на качество заготовки, во-вторых, температура экструзии должна быть выше 160 °С и, в-третьих, длительное температурное воздействие при 90–100 °С приведет к уменьшению количества дефектов.

Чтобы учесть эти три фактора была выполнена серия экспериментов по экструзии с медленным прогревом заготовки (3–4 °С/мин) и точным контролем и поддержанием ее температуры. В результате были получены волокна на основе новых монокристаллов системы AgCl – AgBr – AgI с улучшенными характеристиками: диапазоном спектрального пропускания 1,9–25,5 мкм, оптическими потерями до 0,25 дБ/м, максимумом энергии 6 о.е. спектрометра IR Prestige-21 (в сравнении с 1,8 о.е. в работе [2]) при диаметре волокна 1120 мкм. Процесс экструзии проходил при давлении 8,0±0,3 МПа, температура экструзии составила 180–200 °С. Поскольку процесс проходил при высоком давлении, неизбежно образовывались новые дефекты в структуре волокна. Чтобы их нивелировать был введен этап температурного, рекристаллизационного отжига волокон. Для этого ИК световоды помещались в фторопластовую защитную оболочку, в которой укладывались в сушильный шкаф, где при температуре 100–120 °С выдерживались в течение 2–4 часов под легким вакуумом. Спектры пропускания волокон регистрировались до и после отжига на ИК-Фурье спектрометре IR Prestige-21 в диапазоне 1,6–30 мкм при использовании светоделителя на основе бромида калия и детектора DLaTGS, шаг сканирования 2 $см^{-1}$, количество сканов - 10 шт. В результате отжига уровень пропускания возрастал на 10–30 % во всем диапазоне пропускания, а длина волны коротковолнового края пропускания смещалась на 0,5–1 мкм в ближнюю ИК область. Длинноволновая граница пропускания (граница многофононного поглощения) сохранялась. Полученные результаты косвенно свидетельствуют об уменьшении размера зерен в поликристаллической структуре волокон и об уменьшении количества дефектов структуры.

Для подтверждения влияния на структуры была проведена сканирующая электронная микроскопия на приборе TESCAN VEGA S5123 при токе пучка 100 пА, разрешении 2 мкм. В результате был доказан меньший разброс размеров зерен. Изменение дефектности структуры не было подтверждено данным методом анализа, однако визуальный окрас зерен стал более равномерным. Таким образом отжиг способствует повышению качества структуры поликристаллических волокон, что способствует расширению диапазона спектрального пропускания в ближнюю ИК область и увеличению доли передаваемой энергии.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-72-10105, https://rscf.ru/project/25-72-10105/.

Список литературы

1. Yuzhakova A. Step-index infrared optical fiber based on the AgCl – AgBr – AgI single crystals and ceramics / Yuzhakova A., Barykina S., Lvov A., Yuzhakov I., Salimgareev D., Zhukova L. // Optics and Laser Technology. – 2026. – № 200. – P. 115219.

2. Yuzhakova A. Radiation-resistant polycrystalline fibers: from production technologies to property studies / Yuzhakova A., Lvov A., Salimgareev D., Yuzhakov I., Pestereva P., Zhukova L. // Chinese Optics Letters. – 2025. – № 23 (4). – P. 040604.

Improving the optical characteristics of IR optical fibers through thermal treatment

[1] Yuzhakova A. A., [1] Barykina S. E., [1*] Zhukova L. V.

[1] Ural Federal University, 620062, Russia, Yekaterinburg, 19 Mira Street

email: [*] l.v.zhukova@urfu.ru

Metal halide-based infrared (IR) fibers are polycrystalline optical products with a diameter of 110–1120 μm and a length of up to 3.5 m [1, 2]. They are manufactured from single-crystalline preforms of a given composition by extrusion at a temperature of 170–200 °C, which is possible due to the flexibility of single crystals and ceramics. When producing fibers from crystals, the extrusion process changes the preform structure from single-crystalline one to polycrystalline one with an average grain size of 100 to 1000 nm [1, 2]. This negatively impacts the spectral transmission range, which shifts to 2-4 μm in the IR range.

Recent dynamic mechanical analysis studies [1] have shown that heating the preform at a rate of 5 °C/min to a temperature of 90–100 °C restores the crystalline preform structure. Further, up to 150–160°C, a plateau of a highly elastic state is observed. Further heating leads to a highly elastic state, which makes extrusion possible. This means that, firstly, the heating rate affects the blanks quality; secondly, the extrusion temperature must be above 160°C; and thirdly, prolonged exposure to temperatures of 90–100°C will lead to a reduction in the number of defects.

To take these three factors into account, a series of extrusion experiments were performed with slow heating of the blank (3–4 °C/min) and precise control and maintenance of its temperature. As a result, fibers were obtained based on new single crystals of the AgCl – AgBr – AgI system with improved characteristics: a spectral transmission range of 1.9–25.5 μm, optical losses up to 0.25 dB/m, a maximum energy of 6 a.u. of the IR Prestige-21 spectrometer (compared to 1.8 a.u. in [2]) with a fiber diameter of 1120 μm. The extrusion process took place at a pressure of 8.0±0.3 MPa, the extrusion temperature was 180–200 °C. Since the process was at high pressure, new defects in the fiber structure inevitably formed. To level them out, a stage of temperature, recrystallization annealing of the fibers was introduced. For this purpose, the IR fibers were placed in a protective fluoroplastic sheath and placed in a drying oven, where they were maintained at a temperature of 100–120 °C for 2–4 hours under a light vacuum. The fiber transmission spectra were recorded before and after annealing on an IR Prestige-21 FTIR spectrometer in the 1.6–30 μm range using a potassium bromide beam splitter and a DLaTGS detector, with a scan step of 2 cm-1 and 10 scans. Annealing resulted in a 10–30% increase in transmission across the entire transmission range, while the wavelength of the short-wave transmission edge shifted by 0.5–1 μm to the near-IR region. The long-wavelength transmission edge (multiphonon absorption edge) was preserved. The obtained results indirectly indicate a decrease in the grain size in the polycrystalline structure of the fibers and a reduction in the number of structural defects.

To confirm the effect on the structures, scanning electron microscopy was fulfilled on a TESCAN VEGA S5123 instrument at a beam current of 100 pA and a resolution of 2 μm. This demonstrated a smaller grain size spread. No change in structural defects was confirmed by this analysis method, but the visual color of the grains became more uniform. Thus, annealing improves the structural quality of polycrystalline fibers, which expands the spectral transmission range into the near-IR region and increases the proportion of energy transferred.

The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 25-72-10105, https://rscf.ru/project/25-72-10105/.

References

1. Yuzhakova A. Step-index infrared optical fiber based on the AgCl – AgBr – AgI single crystals and ceramics / Yuzhakova A., Barykina S., Lvov A., Yuzhakov I., Salimgareev D., Zhukova L. // Optics and Laser Technology. – 2026. – № 200. – P. 115219.

2. Yuzhakova A. Radiation-resistant polycrystalline fibers: from production technologies to property studies / Yuzhakova A., Lvov A., Salimgareev D., Yuzhakov I., Pestereva P., Zhukova L. // Chinese Optics Letters. – 2025. – № 23 (4). – P. 040604.

UDC 535.621(075.8)
GRNTI 29.31.29
HAC 1.3.19

Fluorescent lidar for the NO_2 molecules concentration measurement in gas emissions from marine power plants. Computer simulation.

Q. Chai[1], A.N. Popov[2], V.A. Turkin[2], V.G. Shemanin[2] , I.V. Shompolov[2]

[1]Key Lab of In-Fiber Integrated Optics of Ministry of Education, Harbin Engineering University, Harbin, China

[2]Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia

[1]E-mail: chaiquan@hrbeu.edu.cn

[2]E-mail: an.popov.mga@gmail.com

Laser remote fluorescence sensing of the atmosphere and ocean is great interest in remote measurements of the nitrogen dioxide molecules concentration in the technological gases, plasma or atmosphere [1] due to the fact that the fluorescence cross section is much larger than the Raman cross section with an additional increase due to resonance effect. In addition, most marine power plants contain a high concentration of such a pollution molecules in their gas emissions [2]. The experimental studies of the NO_2 molecules resonant fluorescence intensity in the back direction dependence on its concentration in the gas emission and the ranging distance are the new variant of such a studies. This work goal is the computer simulation of a fluorescent lidar for monitoring the NO_2 molecules concentration in the marine power plant gas emissions at the ranging distance up to 120 m and studied molecules concentrations in the order of the maximum permissible concentration [3] and higher.

The values of the NO_2 molecules resonant fluorescence bands wavelength maximum and fluorescent differential cross section have been taken from [4, 5]. A fluorescent lidar was designed on the basic of a monostatic lidar and the laser beam propagates along the axis of the receiving telescope [3, 4]. The semiconductor lasers radiation at the 300,1, 400 and 435,8 nm wavelengths was used to excite the fluorescence of the studied molecules.

The lidar equation for resonant fluorescence was used in the form [4, 5]

$$E(\lambda, z) = E_0 K_0\ (\lambda) T(z) G(z) [A_0/z^2] N(z) [\sigma^F(\lambda)/4\pi]\ c\tau_d/2$$

with the notation from [4] and $K_0(\lambda) = K_1 \times \xi(\lambda)$ for these wavelengths, with $K_1 = 0.495$ according to [3] and $\xi(\lambda)$ is the relative sensitivity of the photodetector. The next parameters in the lidar equation had the following values: $G(z)=1$, $A_0 = 0.0113$ m^2, $\Delta z = 7.5$ m for the measurement time $t_d = 50$ ns. Computer simulation of the lidar equation has been fulfilled for a homogeneous atmosphere [3] and the parameters of the NO_2 molecules resonant fluorescence from [4, 5]. The maximum permissible concentration of nitrogen dioxide molecules is 0.2 mg/m^3 or 3.07×10^{18} cm^{-3} [3]. The equation solutions have been made for laser radiation 300.1, 400ю0 and 435.8 nm wavelengths with pulse energies of 10 mJ at the ranging distances from 7.5 m to 120 m. The spectral dependences of all the parameters in equation leads to a complex redistribution of the results. The optimal one is intermediate result at 435.8 nm wavelength.

Thus, the obtained computer simulation results make it possible to select the parameters of our variant of the fluorescent lidar for the nitrogen dioxide molecules concentration of the order of the maximum permissible concentration and higher measuring at ranging distances up to 120 m. The possibilities of the proposed fluorescent lidar for monitoring the nitrogen dioxide molecules in engine gas emissions have been evaluated theoretically by the computer simulation of lidar equation for studying the concentration dependence of the NO_2 molecules resonant fluorescence pulse energy at the $3,07\times10^{18}$ cm^{-3} level and laser radiation 435.8 nm wavelength.

References

1. Puchikin A.V., Panchenko Yu.N., Losev V.F. et al. Multiphoton dissociation and fluorescence of nitric oxide in intense laser fields //Izvestiya RAS. Ser. Phyics. 2019. V.83, P.329

2. Turkin V.A., Zubko S.S., Shemanin V.G. et al. Detection of methane leaks from fuel systems of marine diesel engines running on liquefied natural gas //Marine intelligent technologies. 2025. V.2-1, P. 113-120

3. Privalov V.E., Fotiadi A.E., Shemanin V.G. Lasers and environmental monitoring of the atmosphere, S-Pb., Lan, 2013

4. Measures R., Laser remote sensing, Moscow, Mir, 1987

5. Laser control of the atmosphere /Edited by E. D. Hinckley, Moscow, Mir, 1979