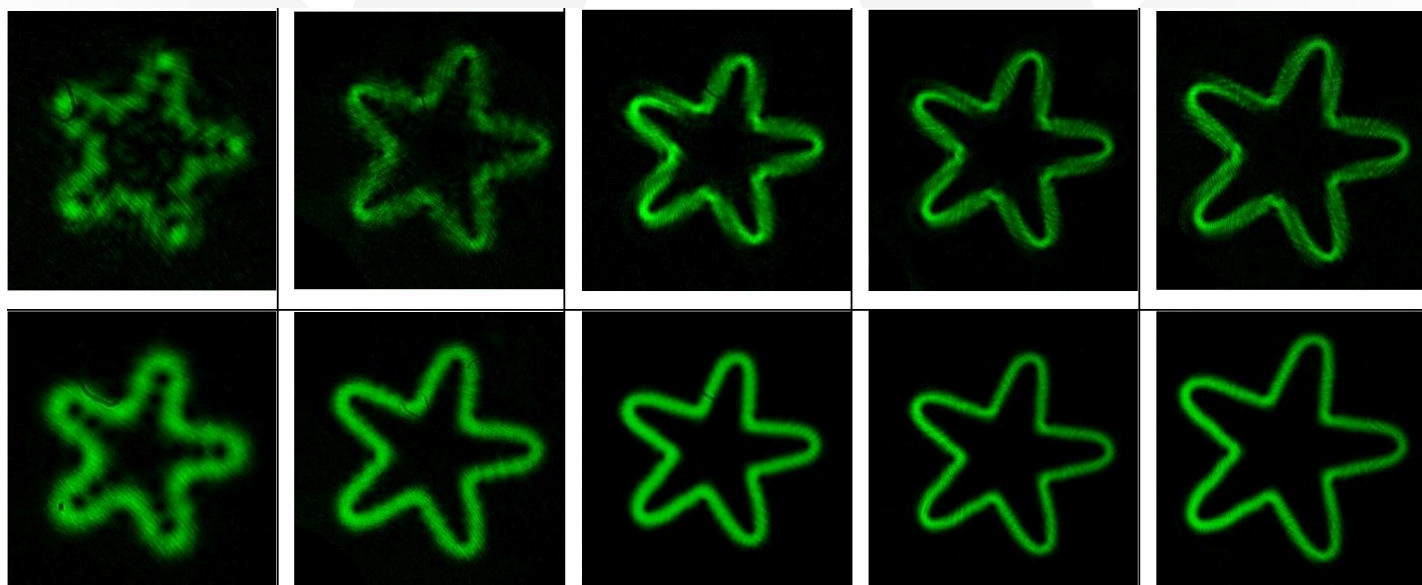


XXIII Всероссийская молодежная Самарская
конкурс-конференция по оптике, лазерной физике
и физике плазмы, посвященная 45-летию СФ ФИАН

СБОРНИК ТЕЗИСОВ



АВЕСТА

ЛАЗЕРЫ И ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ



**САМАРСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**Самарский филиал федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Физического института им. П.Н. Лебедева
Российской академии наук**

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»**

**XXIII Всероссийская молодежная
Самарская конкурс-конференция
по оптике, лазерной физике
и физике плазмы,
посвященная 45-летию СФ ФИАН**

11-15 ноября 2025 г.

Сборник тезисов
Электронное издание

Самара 2025

УДК 535+535: 621.373.826

XXIII Всероссийская молодежная Самарская конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы: сборник тезисов (Самара, 11–15 ноября 2025 г.) [Электронное издание]. – М.: Тровант, 2025. – 204 с.

ISBN 978-5-89513-592-1.

В сборнике представлены тезисы докладов участников XXIII Всероссийской молодежной Самарской конкурс-конференции по оптике, лазерной физике и физике плазмы, посвященной 45-летию СФ ФИАН, а также аннотации приглашенных докладов и лекций ведущих ученых. Исследования конкурсантов охватывают широкий круг теоретических и прикладных вопросов лазерной физики, когерентной, физической и квантовой оптики, спектроскопии, взаимодействия света с веществом, биофотоники, микрофлюидных систем и нанотехнологий, физики и химии космоса. Генеральный партнёр конференции ООО «Авеста».

Для студентов, аспирантов, специализирующихся в области оптики, спектроскопии, лазерной физики, физики плазмы, биофотоники, научных работников и преподавателей.

На обложке использован рисунок из тезисов Д.И. Кашаповой и др. (стр. 159-160).

© Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 2025

© Самарский университет, 2025

© Авторы, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕКЦИИ ВЕДУЩИХ УЧЁНЫХ И ПРИГЛАШЁННЫЕ ДОКЛАДЫ.....	11
Е.А. Безус ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ И ИНТЕГРИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР ФОТОНИКИ	11
И. Ю. Ерёмчев ОДНОФОТОННЫЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОФИЗИКИ ОДИНОЧНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ	12
М.Ю. Ерёмчев НЕЛИНЕЙНАЯ МИКРОСКОПИЯ ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВОДНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ	13
Н.Н. Колачевский СОЗДАНИЕ МНОГОКУБИТНЫХ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ НА ИОННОЙ ПЛАТФОРМЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ	14
И.А. Платонов, И.Н. Колесниченко, Д.Л. Колесниченко КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА ИЛИ ЭФФЕКТ РАМАНА?	15
Н.Д. Кундикова МИКРОФЛЮИДНЫЕ И ХРОМАТО-ДЕСОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛЕТУЧИХ ГАЛОГЕНОРГНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ	17
В.Г. Никифоров ФЕМТОСЕКУНДНАЯ НЕРЕЗОНАНСНАЯ СЕЛЕКТИВНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ.....	18
Е.А. Новикова СОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ БЛОЧНО-ПОРОЗНОГО ТИПА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ И МАЛОЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ	19
Платонов В.И., Платонов И.А., Курепов А.А., Сакс А.В. МИКРОФЛЮИДНЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ АНАЛИЗА КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ	20
И.А. Платонов, В.И. Платонов, Вал.И. Платонов МИКРОФЛЮИДНЫЕ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОЗДУХА	22
Д.А. Рогаткин ОПЫТ МОНИКИ В СОЗДАНИИ ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ БИОФОТОНИКИ	24
Т.А. Савельева, А.А. Кривецкая, Д.М. Кустов, В.В. Левкин, С.С. Харнас, В.Б. Лощенов ОПТИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ КАК КЛЮЧ К ЛАЗЕРНОИНДУЦИРОВАННОЙ ТЕРАПИИ	26
А.П. Торбин, Р.А. Курамшин, М.В. Загидуллин, П.А. Михеев МОЩНЫЕ ГАЗОВЫЕ ЛАЗЕРЫ В СФ ФИАН.....	28
И.В. Шишковский МЕТАМАТЕРИАЛЫ: КОГДА СТРУКТУРА ВАЖНЕЕ ВЕЩЕСТВА – ОТ ОПТИЧЕСКИХ ИЛЛЮЗИЙ К МЕТАУСТРОЙСТВАМ БУДУЩЕГО	30

СЕКЦИЯ АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ	31
Д.В. Агапова, Д.И. Завершинский ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ И ИНТЕГРИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР ФОТОНИКИ	31
Р.И. Анисимов, А.А. Колмаков, Э. Комов, М.Г. Кистенёва, А.С. Акрестина, С.М. Шандаров ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ СТРУКТУР В ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННОМ МЕДЬЮ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ	33
Е.А. Батракова, С.О. Тучин, И.О. Антонов ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ГЛИКОЛАМИДА В РЕАКЦИЯХ ФОРМАМИДА С МЕТАНОЛОМ	35
К.Н. Белов, А.Д. Гульм, М.Г. Иванов, Н.Д. Кундикова ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕНИЙ В МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ КЕРАМИКЕ $La:Er_2O_3$	37
И.А. Платонов, А.С. Брыксин СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ МОНОЛИТНЫХ ХРОМАТО-ДЕСОРБЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	39
П.В. Велиев, И. Ю. Еремеев, В.Д. Зворыкин, Г. Н. Лелявский, Н.Н. Устиновский, А.В. Шутов УКОРОЧЕНИЕ УФ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО KrF ЛАЗЕРА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ВЫРЕЗАНИЯ ЯЧЕЙКОЙ ПОККЕЛЬСА	41
В. С. Вязанкин, Н. В. Гультиков, А. А. Мармалюк РАСТЕКАНИЕ ТОКА В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ЛИНЕЙКИ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ	43
А.П. Дзюба, П.А. Хорин МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АРХИТЕКТУРЫ RESNET50 ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВОЛНОВЫХ АБЕРРАЦИЙ	45
Л.Б. Дубман МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТОВЫХ КРИВЫХ ПРИ НАЛИЧИИ ВОЛНОВЫХ АБЕРРАЦИЙ	47
Д.В. Дьякович, Д.В. Рахмонова, И.А. Платонов ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ АНАЛИТОВ НА СКОРОСТЬ ВЫХОДА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	49
О.А. Дюкарева УПРАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ДИФРАКЦИОННЫХ ПОРЯДКОВ КВАНТОВАННЫХ ОБОБЩЕННЫХ ЛИНЗ	51
Р.А. Ермаков, И.А. Платонов, Е.Н. Тупикова НОВЫЕ МАРКЕРЫ НА ОСНОВЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	53
С.С. Ермаков ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЕВЫХ АНТИОТРАЖАЮЩИХ СТРУКТУР РАЗЛИЧНОГО ПРОФИЛЯ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ	55
А. Ю. Иванчук , Д. Р. Иванчук, С. А. Фомченков РАСЧЕТ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДИФРАКЦИОННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ	57
Д. Р. Иванчук, А. Ю. Иванчук, С. А. Фомченков РАСЧЕТ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДИФРАКЦИОННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ МАТРИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	59

Н.В. Измайлова, Л.Г. Самсонова, Р.М. Гадиров ФОТОГЕНЕРАТОРЫ КИСЛОТЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В СИНТЕЗЕ ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ	61
А.И. Кашапов, Е.А. Безус, Д.А. Быков, Л.Л. Досколович ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПЕРАТОРА ДИВЕРГЕНЦИИ	63
А.В. Кузнецов, А.Д. Клепач, Ю.П. Бобылев, Е.П. Пожидаев ШИРОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ФЕРРИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФАЗЫ В СМЕСЯХ НЕПОЛЯРНЫХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ И НЕМЕЗОГЕННЫХ ХИРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	65
А.И. Комлев МУЛЬТИКЛАССОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖНОГО ПОКРОВА.....	67
А.А. Кривецкая, Т.А. Савельева, Д.М. Кустов, В.В. Левкин, И.Д. Романишкин, С.С. Харнас, В.Б. Лощенов ОЦЕНКА ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	69
Л.И. Крикунова, Д.П. Порфирьев, В.Н. Аязов ЭНЕРГИИ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕАКЦИИ БЕНЗОНИТРИЛА С МЕТИНОВЫМ РАДИКАЛОМ	71
Н.В. Саутина, В.Г. Никифоров, А.Г. Шмелев, Е.О. Кудрявцева, Ю.Г. Галяметдинов РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ БИОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЦИТОХРОМА С.....	73
С.Ю. Кулагина, С.А. Нефедов СТРУКТУРА И СОСТАВ НАНОКОМПОЗИТА ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ГИДРОКСИАПАТИТОМ	75
Р.А. Курамшин, М.В. Загидуллин, П.А. Михеев, А.П. Торбин ЛАЗЕР НА МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМАХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ С ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ НА ДВУХ ДЛИНАХ ВОЛН	77
М.Ю. Лабаев, И.А. Платонов, И. М. Муханова ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНТРОЛИРУЕМОГО ВЫСВОБОЖДЕНИЯ АНАЛИТОВ В ВОДНУЮ СРЕДУ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ХРОМАТО-ДЕСОРБЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	79
В.И. Логачев, С.Н. Хонина ФОРМИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СВЕТОВЫХ КРИВЫХ НА ОСНОВЕ СОВМЕЩЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ СПИРАЛЬНЫХ ФАЗОВЫХ ПЛАСТИНОК С КОМПОЗИЦИОННОЙ ЛИНЗОЙ	81
Е. И.Маврешко, А. А. Фроня, И. Н. Завестовская, М. С. Григорьева, Д.С. Иванов, С.Ю. Лукашенко, А.В. Колобов ЛАЗЕРНАЯ АБЛЯЦИИ НАНОМЕТРОВЫХ ПЛЕНОК ЗОЛОТА КАК МЕТОД СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ	83
Ю.В. Осинская, С.Г. Магамедова ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТАРЕНИЯ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ И ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК9	85
Д.Р. Манучаров, С.С. Лихачев, П.В. Павлов ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА ПО АНАЛИЗУ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВОЙ СПЕКЛ-ФОТОГРАФИИ	87
И.В. Маркова, Д.В. Поминова, А.С. Скобельцин, И.Д. Романишкин, А.В. Рябова ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОПУХОЛЕЙ НА МЫШИНЫХ МОДЕЛЯХ	89

Е.О. Митюшкин, А.Н. Солодов, Р.М. Гатауллина, А.В. Леонтьев, А.Г. Шмелев1, Л.А. Нуртдинова, В.Г. Никифоров, Д.К. Жарков ПРИМЕНЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	91
Д.А. Нестеров, С.А. Нефедов СТРУКТУРНОЕ И СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ И ИТТЕРБИЕМ	93
Али Осман ПЕРЕПУТЫВАНИЕ В ДВУХКУБИТНОЙ МОДЕЛИ ТАВИСА-КАММИНГСА ПРИ НАЛИЧИИ ПРЯМОГО ИЗИНГОВСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КУБИТОВ	95
А. Оспанов, Т.А. Савельева, И.Д. Романишкин МЕТОДЫ АУГМЕНТАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ОПУХОЛЕЙ	97
М.Э. Парфёнов, Д.Н. Артемьев РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО СПЕКТРОФОТОМЕТРА НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ (360–760 НМ)	99
И.А. Пименова, И.А. Матвеева ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ MCR-ALS И PCA В СОЧЕТАНИИ СО СТЕКИНГОМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ПО SERS-СПЕКТРАМ СЫВОРОТКИ КРОВИ ..101	
Д.А. Помазкин, П.А. Данилов, В.Г. Винс, М.Л. Скориков, С.В. Вяткин, Ф.В. Дуонг, Ф.Х. Мин, С.И. Кудряшов ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ N3-ЦЕНТРОВ В АЛМАЗЕ	103
И.А. Помельников, Д.С. Рящиков, Д.И. Завершинский, Н.Е. Молевич ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА НА ФОРМИРУЕМЫЕ УДАРНОВОЛНОВЫЕ СТРУКТУРЫ	105
Д.К. Пометко, А.П. Мартыненко МАЛОЧАСТИЧНЫЕ СВЯЗАННЫЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕПТОНОВ В КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ	107
К.Е. Резников, А. О. Маврицкий, М. Н. Есаулков, А. В. Наумов, А. В. Конященко ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЯМОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКИ В ТВЕРДОТЕЛЬНОМ ТИТАН – САПФИРОВОМ ЛАЗЕРЕ	109
А. Р. Рымжина, А.М.К.Ф.А. Ибрахим, П. Шарма, В.С. Павельев, И.Н. Козлова, Н. Трипати СИНТЕЗ И ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ТРИСУЛЬФИДА ТИТАНА ДЛЯ ФОТОДЕТЕКТОРОВ ИК- ДИАПАЗОНА	111
К.Е. Томникова ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ БИОПСИИ КОЖИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	113
С.О. Тучин, Е.А. Батракова, И.О. Антонов ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ПЛЁНОК, ИМИТИРУЮЩИХ КОСМИЧЕСКИЕ ЛЬДЫ	115
В.К. Урюпина, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский, А.М. Майорова УПРАВЛЕНИЕ АНСАМБЛЕМ МИКРОСФЕР В СТРУКТУРИРОВАННОЙ ОПТОТЕРМИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ	117

Д.А. Услин, С.А. Нефедов, С.А. Турченик ФОРМИРОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР МЕТОДАМИ МСХТ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ	119
А.П. Фащевский, Е. Н. Лазарева, А. М. Мыльников, Н. А. Наволокин, И. Ю. Янина МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭРИТРОЦИТОВ У ЗДОРОВЫХ И ОНКОБОЛЬНЫХ КРЫС: ИНДИКАТОРЫ СИСТЕМНОЙ ПАТОЛОГИИ	121
Н.К. Федотов, Д.А. Вихляев, С.Д. Девятков, А.В. Емельянов, Д.О. Замураев, С.Ф. Ковалёва, Д.С. Носуленко, А.С. Тищенко, А.Л. Шамраев, Н.А. Федоров СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ТЕНЕВЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	123
Н. Ю. Фролов, А. Ю. Клоков, А. И. Шарков, С. И. Ченцов ИССЛЕДОВАНИЕ ФОКУСИРОВКИ СХОДЯЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ НА СТРУКТУРЕ NiCu/АЛМАЗЕ	125
Д.С. Хабарова, Е.Н. Тупикова, И.А. Платонов СИНТЕЗ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СВЕРХ- И СУБКРИТИЧЕСКИХ СРЕДАХ	127
Э.Х. Хамзин, С.А. Нефедов, А.С. Панин, Д.Н. Артемьев, Е.Ю. Тарасова, А.Ф. Крутов ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ УДАРНЫХ ВОЛН НА ПОЛУПРОВОДНИКИ IV ГРУППЫ (Si, SiC)	129
К.А. Целогородцев, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ МАНИПУЛЯЦИИ КРУПНЫМИ МИКРООБЪЕКТАМИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ	131
А.С. Шишова, И.О. Антонов РАСЧЁТ ЭНЕРГИЙ ИОНИЗАЦИИ КОНФОРМЕРОВ ПРОДУКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭТАНА С АЦЕТАЛЬДЕГИДОМ И ФОРМАМИДОМ В КОНТЕКСТЕ МЕЖЗВЁЗДНОЙ ХИМИИ	133
П.П. Шрам, Р.А. Акасов, И.А. Рязанцев, Т.В. Егорова РИБОФЛАВИН ДЛЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ	135
СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ	137
Н.М. Азязов, Л.И. Крикунова, И.О. Антонов ЭНЕРГИИ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОЕДИНЕНИЙ ЗАДЕЙСТВОВАНЫХ В ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ АКРИЛОНИТРИЛА С МЕТИНОВЫМ РАДИКАЛОМ	137
К.А. Александров ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА С ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	139
И.А. Арендаренко, А.В. Щербак ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ КАРБИДА КРЕМНИЯ НА СВЧ	141
М.А. Асташов, С.А. Нефедов СВОЙСТВА БИОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОКОМПОЗИТА ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ + ГИДРОКСИАПАТИТ	143
Д.С. Бузаль, А.В. Щербак ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ ...	145
И.Д. Веретенникова ПАРАМЕТРЫ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛУПРОВОДНИК-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПЛЕНКА ФТОРИДА РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ЗАТВОРНЫХ СТРУКТУР В МДП-УСТРОЙСТВАХ	147

Д.В. Власова, И.А. Братченко ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПЕРЕОБУЧЕНИЯ PLS-DA И PCA-LDA КЛАССИФИКАЦИИ РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОВ КОЖИ, ОБУЧЕННЫХ НА МАЛОЙ ВЫБОРКЕ ДАННЫХ	149
А.А. Горюшкин, К.Д. Чернявский ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ШЛИФОВКИ И ПОЛИРОВКИ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	151
И.Ю. Еремеев, П.В. Велиев, Г.Н. Лелявский, В.Д. Зворыкин, Н.Н. Устиновский ВРМБ КОМПРЕССИЯ УФ ИМПУЛЬСОВ KRF ЛАЗЕРА В ГАЗОВОЙ И ЖИДКОЙ ФАЗАХ SF ₆	153
Ю.В. Осинская, С.Г. Магамедова, М.А. Еремеева ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТОПЛАСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В СОСТАРЕННОМ АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ AL-LI ОТ ФОРМЫ СИГНАЛА ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ	155
Р. А. Калитов МЕХАНИЗМЫ ПРОТЕКАНИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ В МДП-СТРУКТУРАХ С ТОНКОПЛЕНОЧНЫМИ ДИЭЛЕКТРИКАМИ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	157
Д.И. Кашапова, Д.В. Прокопова, С.П. Котова ИССЛЕДОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СПИРАЛЬНЫХ ПУЧКОВ СВЕТА ГОЛОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	159
Р.Р. Ахметвалеев, Б.В. Кирпиченко, С.В. Воронин ВЛИЯНИЕ ВАКУУМА НА ПРОЧНОСТЬ СЛОИСТОГО ОБРАЗЦА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА А5 ...	161
И.А. Ковалев, И.Ю. Еремчев, D. Roesel, М.Ю. Еремчев ГИСТЕРЕЗИС, МЕДЛЕННАЯ ДИНАМИКА И МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ НА ВОДНОМ ИНТЕРФЕЙСЕ СТЕКЛА, ВЫЯВЛЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСКОПИИ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ	163
В.Н. Кречко РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАКСИАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК С ПРИМЕНЕНИЕМ GRU-ВЫЧИСЛЕНИЙ И АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ	165
И.В. Лапаева КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ ПРОЛИНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ	167
Н.С. Лобанов, А.А. Акимов ШЕСТИВОЛНОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТЕПЛОВОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ В СХЕМЕ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	169
В.А. Любошенко, Д.А. Елхимов О.А. Заякин, С.П. Котова, М.Н. Мамзиков, А.И. Пономарев, Т.Н. Сапцина СВЕТОРАССЕЯНИЕ В ДИСПЕРСНЫХ ЖИДКОСТЯХ НА МАЛЫХ УГЛАХ	171
А.М. Малафеев, А.А. Кренц ОПТИЧЕСКАЯ БИСТАБИЛЬНОСТЬ В ПАССИВНОЙ СРЕДЕ С КЕРРОВСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ..	173
И.П. Матвеев, С.П. Котова, Д.В. Прокопова, Н.Н. Лосевский ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ОПТОТЕРМИЧЕСКОГО ПИНЦЕТА	175
К.А.Медведев, А.В.Щербак ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАРБИДА КРЕМНИЯ В ОБЛАСТИ СВЧ	177
В.А. Мелехов ЛАЗЕРНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БИОМЕДИЦИНСКИХ РАМАНОВСКИХ СИСТЕМАХ	179

Ю.В. Осинская, Д.Р. Нуретдинова ПОЛЕВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТОПЛАСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В СОСТАРЕННОМ АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ В95пч	181
С.С. Подтихова, Р.В. Скиданов, Г.В. Успенъев ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ НА ОСНОВЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	183
М.Н. Раджабова, В.А. Жукова ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДЛИННОСТИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ КАПТОПРИЛА ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ	185
Е.О. Савина, В.И. Чепурнов ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР SiC/Si, ЛЕГИРОВАННЫХ РАДИОУГЛЕРОДОМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕМ ГАЗОВОМ ДАТЧИКЕ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ..	187
К.А. Середина, Ф.А. Мартыненко, А.П. Мартыненко ВКЛАД СЛАБОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СВЕРХТОНКУЮ СТРУКТУРУ МЮОНИЯ В СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ	189
Е.В. Скопцова, А.А. Кузнецова, И.О. Антонов ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РЕАКЦИИ C_7H_7+OH	191
Е.В. Сорокина, Ю.А. Христофорова АУГМЕНТАЦИЯ СПЕКТРОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СЫВОРОТКИ КРОВИ	193
А.А. Столбоушкина, Л.И. Крикунова, В.Н. Аяззов КАНАЛЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ ЦИАНОАЦЕТИЛЕНА С МЕТИЛИДИНОМ	195
К.О. Фомин, А.А.Фроня, К.С. Перваков, Д.С. Петруня, М.С. Григорьева, И.Н. Завестовская СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ БОРА ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ	197
Д.А. Чабуркин, С.П. Котова ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОЙ ЗАДЕРЖКИ ДЕГИДРАТИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ	199
Р.В. Шевелев, Д.И. Завершинский ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ МЕЖДУ ЭНТРОПИЙНЫМИ И МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИМИ МОДАМИ В ВОЗМУЩЕНИЯХ СЖАТИЯ, ИНДУЦИРОВАННЫХ В ОСНОВАНИИ КОРОНАЛЬНОЙ ПЕТЛИ	201
Д. Д. Юрлова, В.И. Чепурнов ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР SiC/Si, ЛЕГИРОВАННЫХ РАДИОУГЛЕРОДОМ ДЛЯ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	203

ЛЕКЦИИ ВЕДУЩИХ УЧЁНЫХ И ПРИГЛАШЁННЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК: 535.4

ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ И ИНТЕГРИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
С ПОМОЩЬЮ РЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР ФОТОНИКИ

Е.А. Безус

¹*ИСОИ РАН, НИЦ «Курчатовский институт»
(443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 151)*²*Самарский национальный исследовательский университет
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: evgeni.bezus@gmail.com*

Доклад посвящен резонансным структурам фотоники для оптического вычисления ряда важных дифференциальных операторов от профиля падающего пространственно-временного, пространственного или временного оптического сигнала. Будет рассмотрено оптическое вычисление первых и высших производных, интегрирование, вычисление дивергенции, градиента и оператора Лапласа. Будет обсуждено применение рассматриваемых структур для выделения контуров и формирования пространственно-временных оптических вихрей.

Ключевые слова: оптическое дифференцирование, оптическое интегрирование, аналоговые оптические вычисления, резонанс, резонансная структура фотоники

DIFFERENTIATION AND INTEGRATION OF OPTICAL SIGNALS USING
RESONANT PHOTONIC STRUCTURES

E. A. Bezus

¹*Image Processing Systems Institute, National Research Centre “Kurchatov Institute”
(443001, Samara, 151 Molodogvardeyskaya st.)*²*Samara National Research University
(443086, Samara, 34 Moskovskoye shosse)
e-mail: evgeni.bezus@gmail.com*

The talk is dedicated to resonant photonic structures for the optical computation of several important differential operators applied to the profile of an incident spatiotemporal, spatial, or temporal optical signal. Optical computation of first-order and high-order derivatives, integration, as well as the computation of the divergence, gradient, and Laplace operators is considered. The application of the discussed structures to optical edge detection and generation of spatiotemporal optical vortices is also discussed.

Keywords: optical differentiation, optical integration, analog optical computing, resonance, resonant photonic structure

ОДНОФОТОННЫЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОФИЗИКИ ОДИНОЧНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

И. Ю. Ерёмчев

Институт спектроскопии РАН, Москва, Троицк

142190, Москва, Троицк, ул. Физическая, 5

e-mail: eremchev@isan.troitsk.ru

Анализ статистики фотонов является эффективным инструментом для изучения фотофизики одиночных квантовых излучателей различной природы: молекул, центров окраски, квантовых точек, наноразмерных полупроводников. В докладе планируется рассказать о корреляционных методах, а также об их применении для исследования широкого круга одиночных излучающих объектов. Акцент будет сделан на обсуждении фотофизических свойств нового перспективного типа центров окраски в алмазе - LX-центрах. Исследование группировки фотонов показало, что излучение LX-центров испытывает прерывания на микроскопической временной шкале, которое не может быть описано в рамках стандартной трехуровневой модели с одним метастабильным безызлучательным состоянием.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 25-22-00512, <https://rscf.ru/project/25-22-00512/>

Ключевые слова: коррелированный по времени счет фотонов, группировка фотонов, антигруппировка фотонов, центры окраски, квантовые точки, спектроскопия одиночных молекул

SINGLE-PHOTON CORRELATION METHODS FOR PROBING SINGLE EMITTER PHOTOPHYSICS

I. Yu. Eremchev

Institute of Spectroscopy of Russian Academy of Sciences,

108840, Moscow, Troitsk, Fizicheskaya str. 5, Russia

e-mail: eremchev@isan.troitsk.ru

Photon statistics analysis is a powerful tool for studying the photophysics of various types of single quantum emitters, including molecules, color centers, quantum dots, and nanoscale semiconductors. This report will discuss correlation methods and their application to the study of a wide range of these single emitting objects. The focus will be on the photophysical properties of a newly discovered and promising type of color center in diamond, known as LX centers. Studies of photon bunching have shown that the emission of LX centers undergoes interruptions on a microscopic time scale, which cannot be explained within the framework of a traditional three-level model with a single non-radiative metastable state.

The work was funded by the Russian Science Foundation, Grant No. 25–22–00512, <https://rscf.ru/project/25-22-00512/>

Key words: time-correlated single-photon counting, photon bunching, photon antibunching, color centers, quantum dots, single molecule spectroscopy

НЕЛИНЕЙНАЯ МИКРОСКОПИЯ ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВОДНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ

М.Ю. Ерёмчев^{1,2}

¹*Троицкое обособленное подразделение физического института академии наук имени
П.Н. Лебедева, (119991, г. Москва, ул. Физическая, 11)*

²*Московский педагогический государственный университет
(119435, г. Москва, ул. Малая Пироговская, 1, с1)*

e-mail: maks.eremchev@gmail.com

Микроскопия генерации второй гармоники — поверхностно-чувствительный метод для изучения водных интерфейсов (стекло/вода, минералы/вода, липидные мембраны). Метод позволяет в реальном времени отслеживать электрохимические процессы и динамику внутри двойного электрического слоя при изменении ионной силы и pH, а также режима потока. В докладе планируется рассказать о последних достижениях в этой области.

Ключевые слова: генерация второй гармоники, микроскопия, вода, интерфейсы

LABEL-FREE CHARACTERIZATION OF ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF AQUEOUS INTERFACES WITH SECOND HARMONIC MICROSCOPY

M. Eremchev^{1,2}

¹*Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Troitsk Branch
108840, Moscow, Troitsk, Physicheskaya str., 11)*

²*Moscow Pedagogical State University, 119991, Moscow, 1/1 M. Pirogovskaya Str.)*

e-mail: maks.eremchev@gmail.com

Second-harmonic generation microscopy is a surface-sensitive method for studying aqueous interfaces (glass/water, mineral/water, lipid membranes). The method enables real-time monitoring of electrochemical processes and the dynamics within the electrical double layer upon variations in ionic strength, pH, and flow conditions. The talk will present recent advances in this field.

Key words: second harmonic generation, microscopy, water, interfaces

СОЗДАНИЕ МНОГОКУБИТНЫХ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ НА ИОННОЙ ПЛАТФОРМЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИКО- ОРИЕНТИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ

Н.Н. Колачевский

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

(119991, г. Москва, Ленинский пр-т)

e-mail: kolachevsky@lebedev.ru

Представлен текущий мировой прогресс в области разработки ионных квантовых вычислителей в части увеличения количества и качества кубитов, реализации логических кубитов и выполнения алгоритмов. Важной задачей Дорожной карты РФ на период 2025-2030 по квантовым вычислениям (оператор Госкорпорация “Росатом”) является применение практико-ориентированных полезных алгоритмов, что требует как разработки соответствующих многокубитных вычислителей, так и создания и тестирования оригинальных алгоритмов. В рамках текущих работ продемонстрирована возможность работы ионного квантового вычислителя в 50-и кубитном режиме (25 ионов-кудитов), а также выполнения ряда важных, в том числе с практической стороны, алгоритмов. Для реализации наиболее глубоких квантовых алгоритмов использовались более короткие цепочки в 20 кубит, что обеспечивает достоверность $>99.95\%$ (1Q) и $>96\%$ (2Q) соответственно. С их использованием выполнены части алгоритма Шнора (разложение числа 1591 на простые множители), реализованы многочастичные гейты Тоффоли с использованием кутритов, а также выполнен ряд оптимизационных алгоритмов и алгоритмов распознавания. В обозримой перспективе важной задачей является увеличение качества 2Q операций $>99\%$, что требует модернизации аппаратной части вычислителя и системы управления.

[1] И.В. Заливако и др. "Квантовые вычисления на ионах в ловушках: принципы, достижения и перспективы" УФН 195 585–620 (2025)

[2] A.S. Nikolaeva et al., Scalable improvement of the generalized Toffoli gate realization using trapped-ion-based qutrits Phys. Rev. Lett. - Accepted DOI: <https://doi.org/10.1103/p1z9-6w93>

[3] I. Zalivako et al., “Supervised binary classification of small-scale digit images and weighted graphs with a trapped-ion quantum processor” Phys. Rev. A 111, 052436 (2025)

DEVELOPMENT OF MULTI-QUBIT QUANTUM COMPUTERS ON THE ION PLATFORM FOR IMPLEMENTATING PRACTICE-ORIENTED ALGORITHMS

N.N. Kolachevsky

Lebedev Physical Institute

(Leninsky Prospect, 53, Moscow, Russia, 119991)

e-mail: kolachevsky@lebedev.ru

The current global progress in the development of ionic quantum computers is presented in terms of increasing the number and quality of qubits, implementing logical qubits and executing algorithms.

МИКРОФЛЮИДНЫЕ И ХРОМАТО-ДЕСОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛЕТУЧИХ ГАЛОГЕНОРГНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

И.А. Платонов, И.Н. Колесниченко, Д.Л. Колесниченко

¹Самарский национальный исследовательский университет,

(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: pia@ssau.ru

В работе показана возможность применения микрофлюидных и хромато-десорбционных систем для получения калибровочных газовых смесей ЛГОС в диапазоне менее 10 ppm. Выявлены механизмы формирования буферной ёмкости.

Ключевые слова: газовая хроматография, летучие галогенорганические соединения, хромато-десорбционные системы, микрофлюидные системы, качество нефти.

Одним из распространенных загрязнителей окружающей среды являются летучие галогенорганические соединения (ЛГОС), источники поступления которых довольно разнообразны и чаще всего имеют антропогенный характер: топливо, сырая нефть и разработка нефтяных месторождений, методы хлорирования в системах очистки и водоподготовки, сточные воды. Трудности аналитического контроля галогенорганических соединений заключаются в том, что для особо токсичных загрязнителей установлены низкие предельно допустимые концентрации (ПДК) (порядка $10^{-7} - 10^{-12}$ %) [1].

В работе показана возможность применение хромато-десорбционных систем для получения калибровочных смесей в этом случае является перспективным методом для получения ЛГОС в диапазоне менее 10 ppm. Выявлено, что буферная ёмкость в значительной степени определяется градиентом концентрации в начальной части системы, при этом градиент концентрации может быть обеспечен не только количеством нанесенного аналита, но и геометрическими особенностями системы: для цилиндрической секционной системы, используемой в динамическом режиме, буферная ёмкость формируется за счет разности масс сорбента, что по эффективности аналогично 25% градиенту концентрации в начальной части системы при равной массе аналита и сорбента [2], при этом закономерности хромато-десорбционного способа хорошо согласуются с в рамках теории метода адсорбционного равновесного концентрирования [3].

ХДС инъекционного типа, эксплуатируемые в дискретном режиме, показывают большую эффективность (больше стабильность поддержания квазипостоянства концентрации и меньшее СКО квазипостоянной концентрации) – чем меньше разница между диаметром системы и выходным патрубком, что обусловлено формированием мертвого объема в пристеночном пространстве, за счет чего перераспределение аналита происходит медленнее и неравномерно, что в свою очередь определяет эффективность подпитки аналита на последней теоретической тарелке, отвечающей за концентрацию на

выходе из системы. В таких системах оптимальным является не более, чем двукратное превышение диаметра трубчатой проточной системы и выходного патрубка является.

В ХДС конусообразной формы с постепенным сужением имеет место сглаживание эффекта пристеночной мертвой зоны. При этом в случае миниатюрных размеров система может эксплуатироваться в режиме обратной продувки: в этом случае влияние буферной зоны проявляется медленнее, ресурс системы увеличивается (6-8 дискретных вводов на 1 ступени квазипостоянства), но значительно ухудшается стабильность на 2 ступени (СКО возрастает до 25-35%).

Апробация предложенных подходов при выполнении количественного определения ЛГОС по методике «введено-найдено» на примере четыреххлористого углерода (в диапазоне концентраций 8-1 ppm) показала эффективность применения хромато-десорбционных систем в динамическом режиме и инъекционных систем в дискретном режиме с автоматическим дозированием. Отклонение от опорного значения не превышает 20-24%. Аналогичные зависимости были получены для фторорганического соединения перфтор-1,3-диметилциклогексан (для диапазона концентраций от 1 до 0,1 ppm).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.В. Подлеснова, А.А. Ботин, А.А. Дмитриева Хроматографический метод определения хлорорганических соединений в нефти / // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2019. – Т.19. – № 5. – С.581-587.
2. Платонов И. А. и др. Получение стандартных газовых и жидких сред хромато-десорбционным способом //Сорбционные и хроматографические процессы. – 2024. – Т. 24. – №. 6. – С. 858-884.
3. A.G. Vitenberg Equilibrium model in the description of gas extraction and head-space analysis, Journal of analytical chemistry, 2003; 58(1): 215.

MICROFLUIDIC AND CHROMATOGRAPHIC DESORPTION SYSTEMS FOR THE ANALYSIS OF VOLATILE ORGANIC HALOGEN COMPOUNDS

Platonov I.A., Kolesnichenko I.N., Kolesnichenko D.L.

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: pia@ssau.ru*

This study demonstrates the feasibility of using microfluidic and chromatograph desorption systems to produce calibration gas mixtures of volatile organic compounds (VOCs) in the range of less than 10 ppm. The mechanisms underlying the formation of buffer capacity are identified.

Keywords: gas chromatography, volatile organohalogen compounds, chromatograph desorption systems, microfluidic systems.

КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА ИЛИ ЭФФЕКТ РАМАНА?**Н.Д. Кундикова**

*Южно-Уральский государственный университет,
(454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76)
Институт электрофизики УрО РАН
(620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106.)
e-mail: kundikovand@susu.ru*

Рассматриваются особенности первых экспериментальных исследований спектров комбинационного рассеяния в СССР и Индии. Обсуждаются причины, по которым один и тот же эффект по-разному называется в русскоязычной и англоязычной научной литературе.

Ключевые слова: комбинационное рассеяние света, спектры, терминология

IS IT COMBINATION LIGHT SCATTERING OR THE RAMAN EFFECT?**N.D. Kundikova**

*South Ural State University,
(76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russia)
Institute of Electrophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
(106 Amundsen Street, Yekaterinburg, 620016, Russia)*

The features of the first experimental studies of Raman spectra in the USSR and India are considered. The reasons why the same effect is called differently in Russian and English scientific literature are discussed.

Keywords: Raman scattering of light, spectra, terminology

ФЕМТОСЕКУНДНАЯ НЕРЕЗОНАНСНАЯ СЕЛЕКТИВНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

В.Г. Никифоров

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского

ФИЦ Казанский научный центр РАН

(420029, г. Казань, Сибирский тракт, 10/7)

e-mail: vgnik@mail.ru.

Доклад посвящен обзору возможностей фемтосекундной нерезонансной спектроскопии, основанной на оптической схеме «накачка-зондирование» и регистрации сверхбыстрого оптического эффекта Керра. Эта методика позволяет исследовать низкочастотную динамику молекул в изотропных средах, включая терагерцовый спектральный диапазон. Обсуждаются схемы многоимпульсного возбуждения для селективной спектроскопии путем контроля колебательных и вращательных движений молекул в жидкостях.

Ключевые слова: Фемтосекундная спектроскопия, накачка-зондирование, сверхбыстрый оптический эффект Керра, изотропные молекулярные среды, межмолекулярные взаимодействия, либрации, терагерцовые оптические отклики.

FEMTOSECOND NONRESONANT SELECTIVE SPECTROSCOPY IN THE TERAHERTZ RANGE

V.G. Nikiforov

²Zavoisky Physical-Technical Institute, FRC Kazan Scientific Center of RAS,

(Sibirsky trakt, 10/7, Kazan, Russia, 420029)

e-mail: vgnik@mail.ru.

A review of the capabilities of femtosecond nonresonant spectroscopy based on a pump-probe optical scheme and the detection of the ultrafast optical Kerr effect is presented. This technique enables the study of low-frequency molecular dynamics in isotropic media, including the terahertz spectral range. Multipulse excitation schemes for selective spectroscopy by monitoring the vibrational and rotational motions of molecules in liquids are discussed.

Keywords: Femtosecond spectroscopy, pump-probe, ultrafast optical Kerr effect, isotropic molecular media, intermolecular interactions, librations, terahertz optical responses.

СОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ БЛОЧНО-ПОРОЗНОГО ТИПА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ И МАЛОЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ

Е.А.Новикова, И.А.Платонов, А.С.Карсункина

Самарский национальный исследовательский университет

имени академика С.П. Королева,

(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: novikova.ea@ssau.ru

В данной работе представлены результаты разработки и исследования новых сорбционных систем блочно-порозного типа с использованием сорбционно-активных материалов различной природы. Доказано их преимущество перед традиционными сорбентами по эффективности концентрирования, правильности и прецизионности анализа, а также возможности многократного использования для определения как летучих, так и малолетучих органических соединений в воздушных средах.

Ключевые слова: сорбционные системы, металлорезина, пробоотбор воздуха, летучие органические соединения, малолетучие органические соединения, газовая хроматография, сорбционное концентрирование.

Определение микропримесей органических соединений в воздухе является важной задачей аналитической химии. Существующие методы часто требуют предварительного концентрирования, однако традиционные порошкообразные сорбенты обладают высоким газодинамическим сопротивлением, что снижает эффективность анализа. В качестве решения предлагается использовать сорбционные системы блочно-порозного типа на основе материала «металлорезина», позволяющего варьировать порозность и формировать адсорбционные слои различной химической природы. Цель работы – создание и исследование таких систем для анализа органических соединений в воздухе методом газовой хроматографии.

В качестве материала-основы использовалась «металлорезина» на основе стали X18H10T и алюминия АД1. Формирование сорбционного слоя включало несколько этапов: изготовление основы, химическое и термическое оксидирование для создания развитой поверхности, а также нанесение полимерных пленок (ПМС-200, ПЭГ-4000) и твердых адсорбентов (активный уголь БАУ, Полисорб-1, диоксид кремния). Исследование морфологии поверхности проводили с помощью сканирующей электронной микроскопии. Сорбционно-десорбционные характеристики оценивали на примере малолетучего диоктилфталата (ДОФ) и летучих соединений (гексан, этанол) с использованием газовой хроматографии.

Оценка оксидированных образцов для концентрирования ДОФ: Наименьшая эффективность показана у необработанных образцов. У оксидированных стальных образцов сорбционная способность возросла благодаря формированию развитого оксидного слоя, в то время как у алюминиевых образцов она снизилась из-за уменьшения

диаметра проволоки и увеличения пористости. Предлагаемые системы превзошли традиционное абсорбционное концентрирование и сорбцию на порошкообразном активном угле БАУ по правильности и прецизионности определения ДОФ. Погрешность при десятикратном использовании систем не превышала 10%.

Образцы с нанесенным ПМС и ПЭГ показали высокую степень извлечения (до 95-100%) этанола и гексана. Эффективность систем была выше, чем у гранулированных сорбентов на основе Хроматона, что объясняется их лучшими массообменными характеристиками.

Наилучшие результаты при концентрировании гексана показали системы на основе оксидированной стали с нанесенным Полисорб-1 и ПМС в качестве связующего (степень извлечения при десорбции ~60%, что сопоставимо с порошкообразным аналогом). Данная система рекомендована для проведения пробоотбора. Показано, что ее использование позволяет снизить погрешность, связанную с хранением и транспортировкой проб, по сравнению с сорбционными трубками. Системы продемонстрировали возможность многократного использования без существенной потери эффективности ($ОСКО \leq 5\%$).

BLOCK-POROUS SORPTION SYSTEMS FOR DETERMINING VOLATILE AND LOW-VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN AIR

E.A. Novikova, I.A. Platonov, A.S. Karsunkina

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: vorontsoven@fian.smr.ru*

This paper presents the results of the development and study of new block-porous sorption systems using sorption-active materials of various natures. Their advantages over traditional sorbents in terms of concentration efficiency, accuracy and precision of analysis, and the potential for repeated use for determining both volatile and low-volatile organic compounds in airborne environments have been proven.

Keywords: sorption systems, metal rubber, air sampling, volatile organic compounds, low-volatile organic compounds, gas chromatography, sorption preconcentration.

МИКРОФЛЮИДНЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ АНАЛИЗА КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ

Платонов В.И., Платонов И.А., Курепов А.А., Сакс А.В.

Самарский национальный исследовательский университет,

(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: rovvv@yandex.ru

Разработаны и апробированы импортонезависимые методика и устройства оценки эмиссии парниковых газов методом микрофлюидной газовой хроматографии с использованием портативного микрофлюидного оборудования и устройств, для отбора проб анализируемых газов, а также метрологическое сопровождение, и апробацию методики в полевых условиях и проведение калибровки прибора с использованием Государственных стандартных образцов.

Ключевые слова: газовая хроматография, микрофлюидные системы, климатически активные газы, эмиссия углекислого газа.

Эмиссия парниковых газов из различных типов почв и экосистем широко изучается, в том числе ввиду важности почвы как регулятора содержания газов в тропосфере [1]. Сельскохозяйственная деятельность является одним из самых активных эмитентов CO₂, что обуславливает необходимость разработки стратегии измерения и снижения эмиссии парниковых газов в результате сельскохозяйственного землепользования. Стандартный подход для оценки эмиссии парниковых газов включает отбор проб из паровой фазы с использованием метода статической закрытой камеры, с последующей транспортировкой и анализом пробы в лаборатории [2]. Это является довольно трудоемким и длительным процессом, на каждой из стадий которого могут возникать нежелательные артефакты или потери целевого вещества. Решением данной проблемы является разработка и применение портативных комплексов позволяет сократить время анализа и измерять газовые потоки непосредственно в полевых условиях (*in situ*), что в свою очередь способствует снижению погрешностей эксперимента и экономически облегчает мониторинг эмиссии парниковых газов.

Разработаны и апробированы импортонезависимые методика оценки эмиссии парниковых газов методом газовой хроматографии с использованием портативных микрофлюидных газоаналитических систем, и адаптированная к полевым исследованиям конфигурация газохроматографического микрофлюидного оборудования и устройств, для отбора проб анализируемых газов, а также метрологическое сопровождение, включая апробацию методики в полевых условиях и проведение калибровки прибора с использованием Государственных стандартных образцов.

Прибор оснащен системой автономного газоснабжения, питания и автоматического отбора анализируемых проб газа. Габариты исследованного комплекса: 40x20x40 см, вес – 10 кг, время автономной работы – 20 часов, мощность 150 Вт, предел определения по CO₂ – 0,0005 % об., предел определения по метану – 0,00001 % об. По сравнению с импортными аналогами (DX4015, Италия (принцип работы FTIR); LI-7810

CH₄/CO₂/H₂O Trace Gas Analyzer, США, (принцип работы NDIR)) метрологические и технические характеристики аналогичны, габаритные размеры меньше на 2-5 кг, себестоимость меньше в 4-6 раз. Преимуществом газохроматографического микрофлюидного комплекса является возможность определения самого широкого спектра дополнительных соединений, включающий другие постоянные газы: такие как кислород и азот, а также предельные и непредельные углеводороды.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект FSSS-2024-0022 (регистрационный номер: 1023112900147-4 от 31.01.24).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. García-Calderón N. E., Fuentes-Romero E., Ikkonen E., Sidorova V. CO₂ and CH₄ Fluxes in Wetland Ecosystems of the Mezquital Valley, Central Mexico. // Eurasian Soil Science. 2024. P. 1-28. DOI: 10.1134/S106422932460129X, 23.

3. Kurganova I. N., Rozanova L. N., Myakshina T. N. Monitoring of CO₂ emission from soils of different ecosystems in Southern part of Moscow region: data base analyses of long-term field observations. // Eurasian Soil Sci. 2004. V. 37. P. 74–78.

MICROFLUIDIC ANALYTICAL SYSTEMS FOR THE ANALYSIS OF CLIMATE-ACTIVE GASES

Platonov V.I., Platonov I.A., Kurepov A.A., Saks A.V.

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

e-mail: rovvv@yandex.ru

An import-independent method and devices for assessing greenhouse gas emissions by microfluidic gas chromatography using portable microfluidic equipment and devices for collecting samples of analyzed gases have been developed and tested, as well as metrological support, and testing of the methodology in field conditions and calibration of the device using State Standard Samples.

Keywords: gas chromatography, microfluidic systems, climate-active gases, carbon dioxide emissions.

МИКРОФЛЮИДНЫЕ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОЗДУХА

И.А. Платонов, В.И. Платонов, Вал.И. Платонов

*Самарский национальный исследовательский университет
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)*

e-mail: pia@ssau.ru

Разработаны и апробированы микрохроматографические модули на основе микрофлюидных систем, в том числе предназначенные для определения летучих углеводородов в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны, промышленных выбросах. Приборно-аналитический комплекс обеспечивает возможность проводить анализ воздуха в автоматическом режиме, включая пробоподготовку, а также может использоваться в составе БПЛА-комплекса для обеспечения системы мобильного дистанционного мониторинга.

Ключевые слова: газовая хроматография, микрофлюидные системы, микрофлюидные системы, анализ воздушных сред.

Осуществление достоверного эколого-аналитического контроля возможно при осуществлении непрерывного потокового анализа «на месте», реализация которого определяется возможностями портативных аналитических приборов.

Доминирующими тенденциями современного аналитического приборостроения являются миниатюризация, автоматизация, гибридизация и внедрение нанотехнологий, что, в целом, отражает общие тенденции развития микроэлектроники, вычислительной техники и информационных технологий, лавинообразно разрастающихся в последние десятилетия. Создание подобных аналитических миниприборов во многом обусловлено и необходимостью получения результатов анализа на месте отбора проб в реальном времени для последующего их использования при принятии оперативных решений, что особенно актуально для проведения экологического мониторинга. В области газовой и жидкостной хроматографии суть микроаналитических систем сводится к интеграции всех конструктивных узлов хроматографа на плоской пластине с разветвленной системой каналов, в которых должны осуществляться отбор и предварительная подготовка пробы, разделение и последующее детектирование компонентов пробы.

Целью работы являлось создание инновационного приборно-аналитического комплекса на основе микрофлюидных систем, позволяющего проводить метрологически обеспеченный качественный и количественный анализ воздушных сред в он-лайн и off-лайн режиме.

Разработаны и апробированы микрохроматографические модули на основе микрофлюидных систем, в том числе предназначенные для определения летучих углеводородов в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны, промышленных выбросах. Приборно-аналитический комплекс обеспечивает возможность проводить анализ воздуха в автоматическом режиме, включая пробоподготовку, а также может

использоваться в составе БПЛА-комплекса для обеспечения системы мобильного дистанционного мониторинга.

MICROFLUID GAS CHROMATOGRAPHIC SYSTEMS FOR AIR ANALYSIS

I.A. Platonov, V.I. Platonov, Val.I. Platonov

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: pia@ssau.ru*

Microchromatographic modules based on microfluidic systems have been developed and tested, including those designed for the determination of volatile hydrocarbons in atmospheric air, work area air, and industrial emissions. The instrument and analytical complex provides the ability to perform air analysis in an automatic mode, including sample preparation, and can also be used as part of an UAV complex to provide a mobile remote monitoring system.

Keywords: gas chromatography, microfluidic systems, microfluidic systems, analysis of air environments.

ОПЫТ МОНИКИ В СОЗДАНИИ ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ БИОФОТОНИКИ

Д.А. Рогаткин

ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, Москва

e-mail: rogatkin@medphyslab.com

Докладчик делится собственным многолетним (около 35 лет) опытом разработки и создания лечебно-диагностических приборов биофотоники. Рассказывается история разработок, проблемы, стоящие на пути внедрения новых разработок в медицину, ключевые этапы исследований и разработок. Даются рекомендации молодым разработчикам.

Ключевые слова: биофотоника, медицинская диагностика, приборы, проблемы, внедрение.

Направление по лечебно-диагностическим приборам, использующим технологии биофотоники, в ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф.Владимирского появилось практически с момента зарождения этого научного направления во всем мире – с конца XX века. Первые биофотометры, приборы флюоресцентной диагностики «ЛЭСА-01 БИОСПЕК», первый фотосенсибилизатор на основе гематопорфирина «Фотогем» и ряд других материалов и инструментов биофотоники проходили клинические испытания в МОНИКИ и дорабатывались производителями по результатам испытаний совместно со специалистами МОНИКИ в 80-90-х годах. С годами методология разработки подобных технологий развивалась, совершенствовались приборы, появились приборы с развитым программным обеспечением. Появилось и более углубленное понимание специализированных аспектов создания таких приборов, а также существующих до сих пор пробелов в подходах к их разработке и созданию. Наиболее сложной и комплексной проблемой является обоснование и создание диагностических приборов. Их разработка разбивается на ряд разделов (аппаратная часть, программное обеспечение, методическое обеспечение и т.д.), ключевым и самым первым из которых для рассмотрения разработчиком и для исследований является фрагмент программного обеспечения, связанный с обработкой и анализом результатов измерений. Особенно это относится к переводу измеряемых физических параметров (фототок, напряжение) в понятные врачу медико-биологические показатели. Если это проработано, аппаратная часть должна далее подстраиваться под алгоритм обработки, обеспечивая сбор для него и хранение необходимых первичных данных. Методология проведения измерений (что и где измерять, какой ожидаемый результат необходимо/желательно получить) должна разрабатываться в сотрудничестве с врачом. Это тоже важный и сложный раздел. Без участия врачей в разработке новой диагностической технологии создать такую технологию практически невозможно («не занимайтесь самостоятельно исследованиями, обратитесь к врачу»). Но самым сложным и проблемным разделом сегодня в диагностическом приборостроении является вопрос метрологии измерений. Кроме пульсоксиметров никакие другие приборы и методы оптической неинвазивной

диагностики, ни флюоресцентная диагностика, ни лазерная доплеровская флоуметрия, ни оптоакустические измерения, ни какие другие не имеют сегодня нигде в мире обоснованного метрологического обеспечения и формально не являются средствами измерения медицинского назначения (СИМН). Для них не разработаны и не обоснованы единицы измерений, нет рабочих мер для настройки и калибровки приборов, нет единых шкал, метрологически аттестованных методик измерений, не изучены погрешности измерений и т.д. Поэтому, формально, никаким числовым параметрам, индицируемым сегодня этими приборами, доверять нельзя. Их нельзя сравнивать, особенно параметры с приборов разных производителей. И это существенно сдерживает внедрение приборов в практику, порождает разные заблуждения, что и как «измеряют» эти приборы, создает завышенные ожидания врачей. Плохо обоснованная технология не дойдет до реальной клинической практики, но может на годы «оттянуть» на себя усилия и время клиницистов и разработчиков, и отодвинуть надолго более перспективные и обоснованные подходы. Типичный пример в биофотонике – лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ), которая в научном плане существует более 40 лет, но в силу глубоких проблем и пробелов в своей основе и отсутствия значимого клинического результата нигде в мире в повседневной клинической практике не применяется. Надежное медико-физическое и патогенетическое теоретическое обоснование на первых этапах разработки – необходимый элемент в разработке новых диагностических приборов и технологий биофотоники.

MONIKI'S EXPERIENCE IN CREATING THERAPEUTIC AND DIAGNOSTIC BIOPHOTONIC DEVICES

D.A. Rogatkin

Moscow Regional Clinical Research Institute named after M.F. Vladimirsky (MONIKI)

e-mail: rogatkin@medphyslab.com

The speaker shares his own many years experience (approximately 35 years) on the development and creation of therapeutic and diagnostic biophotonic devices. He describes the history of these developments, the challenges facing the implementation of new devices in medicine, and the key stages of research and development. Recommendations for young developers are provided.

Keywords: biophotonics, medical diagnostics, devices, problems, implementation

ОПТИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ КАК КЛЮЧ К ЛАЗЕРНОИНДУЦИРОВАННОЙ ТЕРАПИИ

Т.А. Савельева^{1,2*}, А.А. Кривецкая^{1,2}, Д.М. Кустов¹, В.В. Левкин³, С.С. Харнас³,
В.Б. Лощенов^{1,2}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт», Москва

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва

³Университетская Клиническая больница №1 Первого МГМУ им. Сеченова, Москва, Россия

* savelevat@gmail.com

Фотодинамическая терапия является одним из наиболее активно развиваемых методов лазерно-индуцированного воздействия на патологические ткани. При этом для персонализации воздействия необходимо учитывать ряд факторов, среди которых - соотношение оптических свойств фотосенсибилизаторов и содержащих их тканей. Методы, позволяющие в режиме реального времени и непосредственно в точке терапевтического воздействия оценивать оптические параметры, являются необходимым компонентом успешного внедрения фотодинамической терапии в широкую клиническую практику. На лекции мы рассмотрим различные подходы к оценке оптических свойств тканей в живом организме.

Ключевые слова: оптические свойства, лазерно-индуцированная терапия, биологические ткани.

Фотодинамическая терапия является одним из наиболее активно развиваемых методов лазерно-индуцированного воздействия на патологические ткани. При этом для персонализации воздействия необходимо учитывать ряд факторов, среди которых - соотношение оптических свойств фотосенсибилизаторов и содержащих их тканей. Методы, позволяющие в режиме реального времени и непосредственно в точке терапевтического воздействия оценивать оптические параметры, являются необходимым компонентом успешного внедрения фотодинамической терапии в широкую клиническую практику.

На лекции мы рассмотрим различные подходы к оценке оптических свойств тканей как в лабораторных условиях, так и в живом организме. Взаимодействие оптического излучения с биологическими тканями может быть описано с помощью различных аналитических моделей, как строгих (теория переноса излучения и ее приближения), так и эмпирических (модифицированный с учетом многократного рассеяния закон Бугера-Ламберта-Бера). Также распространение света в тканях можно моделировать численно методом Монте-Карло. Для восстановления оптических свойств тканей необходимо решить обратную задачу, в которой в качестве входных параметров используются спектры или интенсивности проходящего и диффузно отраженного тканями излучения, а сами оптические свойства являются неизвестными. Различные конфигурации измерения упомянутых сигналов и алгоритмы восстановления данных

будут рассмотрены на лекции, а также представлен метод восстановления оптических свойств тканей стенки кишечника.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 25-25-00516.

OPTICS OF BIOLOGICAL TISSUES AS A KEY TO LASER-INDUCED THERAPY

T.A. Savelieva^{1,2*}, A.A. Krivetskaya^{1,2}, D.M. Kustov¹, V.V. Levkin³, S.S. Kharnas³, V.B. Loschenov^{1,2}

¹*National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia*

²*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,
119991, Moscow, Russia*

³*I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia*

*savelevat@gmail.com

Photodynamic therapy is one of the most actively developing methods of laser-induced treatment of pathological tissues. Personalizing the treatment requires considering a number of factors, including the optical properties of photosensitizers and the tissues containing them. Methods that allow for real-time, direct assessment of optical parameters at the point of therapeutic action are essential for the successful implementation of photodynamic therapy in widespread clinical practice. In this lecture, we will examine various approaches to assessing the optical properties of tissues *in vivo*.

Key words: optical properties, laser induced therapy, biological tissues

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 25-25-00516.

МОЩНЫЕ ГАЗОВЫЕ ЛАЗЕРЫ В СФ ФИАН**А.П. Торбин, Р.А. Курамшин, М.В. Загидуллин, П.А. Михеев**

*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)
e-mail: torbin.ap@yandex.ru*

Исследования Самарского филиала ФИАН охватывают разработку мощных газовых лазеров, включая химический кислородно-йодный лазер и лазер на метастабильных атомах инертных газов с оптической накачкой. В докладе будут представлены ключевые достижения в создании этих систем, преодоленные научно-технические проблемы и перспективные направления развития технологий.

Исследования мощных газовых лазеров сохраняют свою актуальность благодаря уникальному сочетанию характеристик, недостижимых для твердотельных аналогов. Высокая мощность в непрерывном режиме, возможность масштабирования до мегаваттного уровня, однородность активной среды и получение излучения в специфических спектральных диапазонах делают эти системы незаменимыми для решения фундаментальных и прикладных задач. Ключевые области применения включают лазерную физику высоких энергий, обработку материалов, атмосферные исследования, а также перспективные проекты в области энергетики и передачи энергии.

Сотрудников самарского филиала физического института академии наук (СФ ФИАН) в течение долгого времени увлекала работа по созданию и развитию химического кислородно-йодного лазера в непрерывном режиме. Основные усилия были направлены на разработку компактных и эффективных генераторов синглетного кислорода — сердца химического лазера, а также на прецизионное управление газодинамическими потоками в условиях протекания химических реакций и лазерной генерации. Эти исследования заложили фундамент для создания энергетически эффективных систем с высокой плотностью выходной мощности. Сегодня же основным направлением СФ ФИАН в области высокомошных лазерных систем стала разработка лазера на метастабильных атомах инертных газов с оптической накачкой (ЛОНИГ), являющегося прямым конкурентом известного лазера на парах щелочных металлов. В основе концепции лежит оригинальный метод формирования активной среды путем оптической накачки широкополосным излучением, что позволяет эффективно создавать инверсию населенностей на переходах в атомах аргона, неона, криптона или ксенона. Данное направление является ярким примером того, как фундаментальные научные исследования толкают вперед технически сложную, но крайне перспективную технологию. С момента появления идеи ЛОНИГ в стенах филиала были как экспериментально получены лазерные генерации на смесях аргон-гелий и неон-гелий, так и измерен широкий набор различных кинетических и спектральных констант, играющих критически важную роль как в эксперименте, так и при моделировании активной среды ЛОНИГ.

Таким образом, многолетние исследования СФ ФИАН внесли и до сих пор вносят значительный вклад в сокровищницу лазерной физики. В докладе будут освещены основные достижения коллектива в области создания и исследования мощных лазерных систем, обсуждены преодоленные научно-технические проблемы и намечены потенциальные перспективы дальнейшего развития этих технологий.

HIGH-POWER GAS LASERS AT THE SAMARA BRANCH OF THE LEBEDEV PHYSICAL INSTITUTE

A.P. Torbin, R.A. Kuramshin, M.V. Zagidullin, P.A. Mikheyev¹,

*Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)
e-mail: torbin.ap@yandex.ru*

Research at the Samara branch of the Lebedev Physical Institute's is dedicated to advancing high-power gas laser systems, notably the chemical oxygen-iodine laser (COIL) and optically pumped lasers utilizing metastable rare gas atoms. This report highlights key accomplishments in the development of these systems, outlines the principal scientific and technical challenges that have been addressed, and identifies promising directions for future technological progress.

МЕТАМАТЕРИАЛЫ: КОГДА СТРУКТУРА ВАЖНЕЕ ВЕЩЕСТВА – ОТ ОПТИЧЕСКИХ ИЛЛЮЗИЙ К МЕТАУСТРОЙСТВАМ БУДУЩЕГО

И.В. Шишковский

*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

shishkowskiiv@smr.lebedev.ru

Метаматериалы – это не просто «новые материалы», а новый язык описания взаимодействия волн с материей. Начав с отрицательного показателя преломления, ученые сегодня проектируют активные, нелинейные, топологические и даже квантовые метадстройства, способные управлять светом, плазмой и терагерцовым излучением с беспрецедентной точностью. В лекции мы проследим путь от первых «невозможных» структур к функциональным оптическим системам, а затем – к смелым концепциям будущего: метаповерхностям для компактных лазеров, невидимости в реальном времени, и даже к идеям «метавселенной» – среды, где физические законы программируются через архитектуру материи.

Ключевые слова: метаматериалы, отрицательное преломление, метаповерхности, топологическая фотоника, активная перестраиваемость, терагерцовое управление, динамическая маскировка, плоская оптика, квантовые метадстройства, программируемая материя, метавселенная, субволновая инженерия.

METAMATERIALS: WHEN STRUCTURE OUTWEIGHS COMPOSITION — FROM OPTICAL ILLUSIONS TO NEXT-GENERATION META-DEVICES

I.V. Shishkovsky

*P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Samara branch
Novo-Sadovaja str. 221, 443011 Samara.*

shishkowskiiv@smr.lebedev.ru

Metamaterials constitute not merely a new class of engineered materials, but a paradigm shift in the description of wave–matter interactions. Beginning with the experimental realization of a negative refractive index, the field has advanced toward the rational design of active, nonlinear, topological, and even quantum meta-devices—enabling unprecedented spatiotemporal control over electromagnetic waves, surface plasmons, and terahertz radiation. This lecture outlines the evolution from early “forbidden” or counterintuitive structures to fully functional optical systems, and further projects toward emerging frontiers: ultrathin metasurfaces for miniaturized laser cavities, dynamic cloaking systems operating in real time, and the conceptual framework of a “meta-universe”—a physical domain in which effective laws of physics are programmable via subwavelength structural engineering.

Keywords: Metamaterials, negative refraction, metasurfaces, topological photonics, active tunability, terahertz control, dynamic cloaking, flat optics, quantum meta-devices, programmable matter, meta-universe, subwavelength engineering.

СЕКЦИЯ АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 533.9.01

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ВОЛН В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ С УЧЕТОМ СЖИМАЕМОСТИ ПЛАЗМЫ

Д.В. Агапова^{1,2}, Д.И. Завершинский^{1,2}

¹*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

²*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: agapova.dv@ssau.ru*

В работе исследуется механизм резонансного поглощения альфвеновских волн как один из возможных источников нагрева солнечной короны. Получено дифференциальное уравнение, учитывающее неоднородность плазменных параметров. Его решение в приближении магнитного слоя позволило вывести дисперсионное соотношение для магнитогидродинамических (МГД) волн, позволяющее анализировать их волновые свойства в корональных условиях.

Ключевые слова: физика плазмы, солнечная корона, резонансное поглощение.

Одной из ключевых нерешённых проблем физики Солнца остается аномальный температурный скачок от фотосферы (около 6000 градусов) до короны с температурой в миллионы градусов. Ученые предлагают различные механизмы объяснения этого феномена. Наиболее перспективными моделями считаются нагрев нановспышками и волновой нагрев. Гипотеза нагрева нановспышками предполагает постоянные микроскопические пересоединения магнитных линий, генерирующие множество миниатюрных энерговыделений, обеспечивающие нагрев короны. Для подтверждения данной гипотезы необходимо подтвердить специфическую зависимость частоты вспышек и их масштаба, но на данный момент разрешающей способности существующих приборов недостаточно для этого. Волновой нагрев описывает перенос энергии МГД волнами, в частности, альфвеновскими волнами из нижних слоев солнечной атмосферы с последующим её преобразованием в тепловую энергию. Механизм способен обеспечить нагрев "тихой" короны, однако существуют трудности как с наблюдением данных волн, так и с описанием процесса передачи магнитной энергии в тепловую. Альфвеновские волны являются несжимаемыми и в линейном приближении крайне слабодиссипирующими. Одним из механизмов преобразования магнитной энергии данных волн в тепловую энергию является, так называемое, резонансное поглощение. Физическая основа этого механизма заключается в том, что частота падающей альфвеновской волны может совпасть с локальной собственной частотой плазмы и привести к резонансному поглощению таких волн на сингулярных поверхностях. Особенно интенсивно этот процесс может протекать в короне благодаря сочетанию факторов: доминирующему влиянию магнитного поля, наличию тонких

переходных слоев с резкими изменениями параметров плазмы, и существенным пространственным вариациям альфвеновской скорости.

В данной работе проведено исследование процесса резонансного поглощения альфвеновских волн с учётом сжимаемости корональной плазмы. Основным теоретическим результатом исследования стало получение дифференциального уравнения с переменными коэффициентами, описывающего процесс резонансного поглощения в неоднородной плазме. Переменные коэффициенты в выведенном уравнении отражают реальное распределение плазменных параметров в короне, что повышает точность модели. При решении полученного уравнения было использовано приближение магнитного слоя, которое позволило получить дисперсионное соотношение. Это соотношение дает возможность анализировать волновые свойства в корональной плазме и изучать особенности распространения альфвеновских волн в условиях резонансного поглощения. Следующим этапом работы планируется проведение серии численных расчетов для различных распределений параметров плазмы характерных для разных областей короны, что позволит более детально изучить эффективность резонансного поглощения как механизма диссипации магнитной энергии.

Работа частично поддержана в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проекты FSSS-2023-0009, FMR-2024-0017).

STUDY OF RESONANT WAVE ABSORPTION IN THE SOLAR CORONA TAKING INTO ACCOUNT PLASMA COMPRESSIBILITY

D.V. Agapova^{1,2}, D.I Zavershinskii^{1,2}

¹*Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

²*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

e-mail: vorontsoven@fian.smr.ru

The paper investigates the mechanism of resonant absorption of Alfvén waves as one of the possible sources of solar coronal heating. A differential equation accounting for the inhomogeneity of plasma parameters was derived. Its solution in the magnetic slab approximation allowed us to obtain a dispersion relation for magnetohydrodynamic (MHD) waves, enabling the analysis of their wave properties under coronal conditions.

Keywords: plasma physics, solar corona, resonant absorption

ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ СТРУКТУР В ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННОМ МЕДЬЮ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

Р.И. Анисимов, А.А. Колмаков, Э. Комов, М.Г. Кистенёва, А.С. Акрестина,
С.М. Шандаров

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
(634050, г. Томск, пр. Ленина, 40)
e-mail: roman.anisimov.00@mail.ru*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований особенностей формирования фоторефрактивных структур в диффузионно-легированном медью кристалле ниобата лития. При освещении диффузионной структуры лазерным пучком с гауссовым распределением интенсивности получены изображения профиля пучка, модифицированного в результате фоторефрактивного эффекта.

Ключевые слова: ниобат лития, диффузионное легирование, фоторефрактивный эффект, фоторефрактивные голограммы.

Легированные фоторефрактивными примесями кристаллы ниобата лития представляют интерес, как материалы для динамической голографии, благодаря сильным фотовольтаическим свойствам [1, 2]. Возможность формирования фоторефрактивных голограмм с длительным временем жизни может быть использована в различных оптических системах, таких как волноводные структуры или фотонные интегральные схемы, а фотоиндуцированные электрические поля могут быть использованы для захвата микро- и нанообъектов на поверхности кристаллов. Их возникновение обеспечивается пространственным перераспределением зарядов при освещении кристаллов в результате фотовольтаического и диффузионного механизмов с образованием поля пространственного заряда, которое за счет электрооптического эффекта модулирует показатель преломления структуры.

В исследованиях использовался образец ниобата лития X-среза, изготовленный в АО «Фомос-Материалы», с размерами $2,0 \times 5,0 \times 15,0$ мм³ по осям X, Y и Z соответственно. На одну из X-плоскостей кристалла была нанесена пленка из меди методом химического осаждения. Легирование производилось методом термической диффузии в атмосфере аргона в течение 12 часов при температуре 800 °С. Средние значения концентрации меди в полученном образце $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ были определены из измеренных с использованием спектрофотометра СФ-56 спектров пропускания, которые связаны с концентрациями ионов примеси Cu^+ и Cu^{2+} на длинах волн 477 и 1040 нм через показатель поглощения с помощью известных соотношений [2]. Для полученной структуры $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ концентрации составили $C_{\text{Cu}^+}^{\text{av}} = 3,17 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ и $C_{\text{Cu}^{2+}}^{\text{av}} = 8,2 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$.

Формирование фоторефрактивных структур в исследуемом образце при его засветке эллиптическим пучком с гауссовым профилем распределения интенсивности наблюдалось на длине волны 532 нм. Лазерный пучок мощностью 1 мВт был сфокусирован на входную грань $x = 0$ цилиндрической линзой, имел ширину 85 мкм вдоль оси Z

и распространялся вдоль оси Y образца в виде необыкновенной волны. Регистрация профиля пучка после прохождения через образец производилась профилометром BladeCam2 S-BC2-HR с использованием программного пакета DataRay. Наблюдаемые картины эволюции распределения интенсивности со временем засветки представлены на рисунке 1.

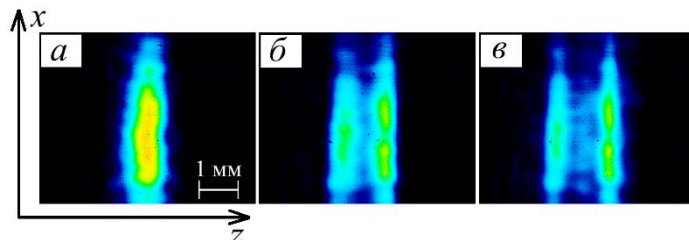


Рис. 1. Изображения профиля пучка, проходящего вдоль оси Y образца $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$, в моменты времени $t = 1$ (а), 25 (б), 50 (в)

Как видно из рисунка 1, структура исходного пучка к моменту времени $t = 25$ с (рисунок 1(б)) претерпевает изменения в виде разделения на две компоненты, а уже к моменту $t = 50$ с (рисунок 1(в)) наблюдается появление между ними третьей составляющей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.А. Колмаков, Р.И. Анисимов, Э. Комов, С.М. Шандаров, Н.И. Буримов, Динамические фоторефрактивные голограммы в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$, легированных методом термической диффузии. // Оптический журнал, 2025, т. 92, №7, с. 26-34.
2. K. Peithmann, J. Hukriede, K. Buse, E. Kratzig, Photorefractive properties of LiNbO_3 crystals doped by copper diffusion. // Phys. Rev. B., 2001, v. 61, №. 7, p. 4615–4620.

FORMATION OF PHOTOREFRACTIVE STRUCTURES IN COPPER-DIFFUSION-DOPED LITHIUM NIOBATE CRYSTAL

**R.I. Anisimov, A.A. Kolmakov, E. Komov, M.G. Kisteneva, A.S. Akrestina,
S.M. Shandarov**

*Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
(40, prospect Lenina, 634050, Tomsk, Russia)
e-mail: roman.anisimov.00@mail.ru*

The paper presents the results of experimental studies of the formation of photorefractive structures in copper-diffusion-doped lithium niobate crystal. When illuminating the diffusion structure with a laser beam with a Gaussian intensity distribution, images of the modified beam profile were obtained as a result of the photorefractive effect.

Keywords: lithium niobate, diffusion doping, photorefractive effect, photorefractive holograms.

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ГЛИКОЛАМИДА В РЕАКЦИЯХ ФОРМАМИДА С МЕТАНОЛОМ

Е.А. Батракова¹, С.О. Тучин¹, И.О. Антонов¹

¹Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)
e-mail: evabatrakova2610@gmail.com

Исследованы продукты радиационно-инициированных реакций формамида с метанолом в условиях межзвездных льдов. Разработан вычислительный протокол для систематического конформационного анализа молекул. Методами квантовой химии рассчитаны энергии ионизации и относительные энергии структурных изомеров вида $C_2H_5NO_2$. Показано, что гликоламид является наиболее стабильным продуктом, существующим в виде двух конформеров, что согласуется с его недавним астрономическим обнаружением.

Ключевые слова: астрохимия, межзвездные льды, энергия ионизации, радикал-радикальные реакции.

Синтез сложных органических молекул в межзвездных льдах является одной из фундаментальных проблем современной астрохимии. Особый интерес представляет формамид ($HCONH_2$) – ключевая пребиотическая молекула, идентифицированная в различных астрофизических объектах: от молекулярных облаков [1] до спутников планет [2]. Его взаимодействие с метанолом открывает потенциальный путь к образованию структурных изомеров простейшей аминокислоты, глицина.

На рисунке 1 приведены продукты радиационно-инициированных реакций с участием формамида и метанола: четыре изомера $C_2H_5NO_2$.

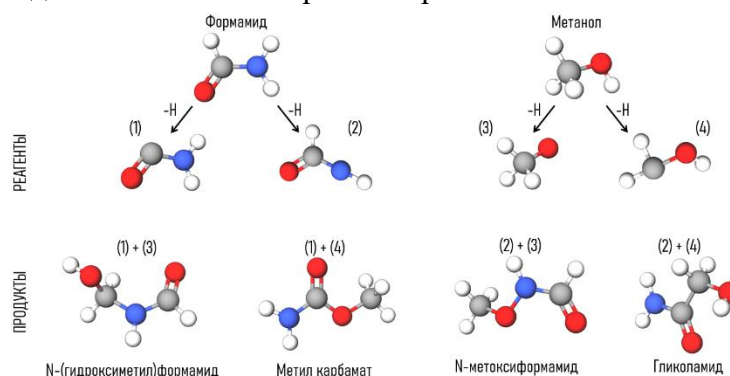


Рис. 1. Реакционная схема синтеза изомеров $C_2H_5NO_2$ из формамида и метанола

Для идентификации молекулярных структур одинаковой массы методом фотоионизационной масс-спектрометрии важно знать энергии ионизации различных изомеров. Кроме того, энергия ионизации определяет устойчивость молекул к ионизации ультрафиолетовым излучением в окрестности молодых звезд. Для полного исследования конформационного пространства был разработан алгоритм анализа конформационного пространства, включающий систематическую генерацию ротамеров, их оптимизацию на уровне теории B3LYP/6-31G* и фильтрацию с использованием объективного критерия на основе анализа межатомных расстояний в третьей координационной сфере. Для

уникальных конформеров проведены высокоточные расчеты энергий и потенциалов ионизации методом CBS-QB3. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики конформеров: количество ($N_{\text{конф}}$), относительная энергия при 0 К ($\Delta E_{\text{конф}}$), энергии ионизации (AIP)

Продукт реакции	$N_{\text{конф}}$	$\Delta E_{\text{конф}}$, кДж·моль ⁻¹	AIP, эВ
N-(гидроксиметил)формамид	7	199,1-214,2	9,89-10,20
Гликоламид	2	0,0-4,6	9,45-9,56
N-метоксиформамид	3	390,8-413,9	8,86-9,17
Метилкарбамат	2	148,2-181,9	10,11-10,29

Наиболее энергетически выгодным продуктом реакции является гликоламид, существующий в двух стабильных конформациях (*syn* и *anti*). Его недавнее обнаружение в молекулярном облаке G+0.693–0.027 [3] подтверждает полученные данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Rubin, G.W. Swenson, R.C. Benson, H.L. Tigelaar, W.H. Flygare, Microwave detection of interstellar formamide. // *Astrophysical Journal*, 1971, v. 169, p. L39.
2. Kahane, C. Ceccarelli, A. Faure, E. Caux, Detection of formamide, the simplest but crucial amide, in a solar-type protostar. // *The Astrophysical Journal Letters*, 2013, v. 763(2), p. L38.
3. V.M. Rivilla, et al., First glycine isomer detected in the interstellar medium: glycolamide (NH₂C (O) CH₂OH). // *The Astrophysical Journal Letters*, 2023, v. 953(2), p. L20.

THEORETICAL STUDY OF THE REACTION PRODUCTS OF FORMAMIDE WITH METHANOL IN THE INTERSTELLAR MEDIUM

E.A. Batrakova¹, S.O. Tuchin¹, I.O. Antonov¹

¹*Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)
e-mail: evabatrakova2610@gmail.com*

The products of radiation-initiated reactions of formamide with methanol under conditions of interstellar ices have been studied. A computational protocol for systematic conformational analysis of molecules has been developed. The ionization energies and relative energies of structural isomers of the type C₂H₅NO₂ have been calculated using methods of quantum chemistry. It is shown that glycolamide is the most stable product existing in the form of two conformers, which is consistent with its recent astronomical discovery.

Keywords: astrochemistry, interstellar ices, ionization energy, radical reactions.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕНИЙ В МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ КЕРАМИКЕ La:Er₂O₃

К.Н. Белов¹, А.Д. Гульм¹, М.Г. Иванов², Н.Д. Кундикова^{1,2}

¹ Южно-Уральский государственный университет,
(454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76)

² Институт электрофизики УрО РАН
(620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106.)

e-mail: belovkirillnikolaevich@gmail.com

Методом спектроскопии комбинационного рассеяния впервые проведена оценка относительных механических напряжений в магнитооптической керамике 7% La:Er₂O₃. Установлено, что величина напряжения растяжения варьируется в разных кристаллитах, что может влиять на её лучевую стойкость.

Ключевые слова: магнитооптическая керамика, оксид эрбия, комбинационное рассеяние света, механические напряжения, лучевая стойкость.

Современные технологические задачи требуют создания материалов с уникальными свойствами, таких как магнитооптическая керамика, сочетающая ферромагнитные и оптические характеристики [1]. В отличие от лазерной керамики [2], магнитооптическая керамика изучена в меньшей степени. Для анализа состава и микроструктуры таких материалов применяется рамановская спектроскопия [3].

Цель работы - оценка механических напряжений в образце керамики 7% La:Er₂O₃ методом рамановской спектроскопии. Эксперименты проводились на спектрометре с длиной волны возбуждающего излучения 473 нм с регистрацией спектров в семи точках поверхности на рисунке 1 (справа). Спектры обрабатывались в программе Fityk [4] с аппроксимацией линий функцией Лоренца.

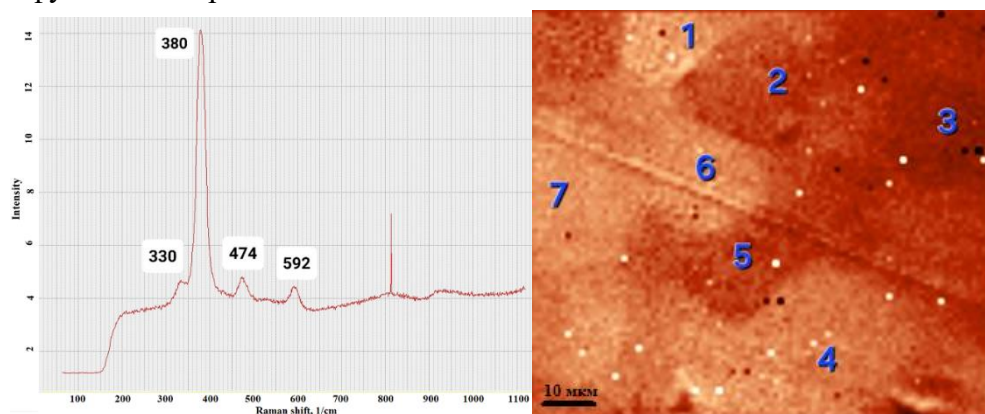


Рис. 1. (слева) Спектр комбинационного рассеяния 7%La:Er₂O₃ от 200 см⁻¹ до 1100 см⁻¹. Длина волны возбуждающего излучения 473 нм, (справа) Изображение поверхности исследуемого образца 7% LaEr₂O₃, полученное в рассеянном свете в диапазоне 347-414 см⁻¹

Анализ смещения линии ~380 см⁻¹ на рисунке 1 (слева) относительно монокристалла Er₂O₃ [5] позволил оценить механические напряжения. Наибольшее

отклонение ($-1,51 \text{ см}^{-1}$) в точке 1 принято за репер для расчета относительных напряжений растяжения. Анализ смещения линии $\sim 380 \text{ см}^{-1}$ относительно монокристалла Er_2O_3 [5] позволил оценить механические напряжения. Наибольшее отклонение ($-1,51 \text{ см}^{-1}$) в точке 1 принято за репер для расчета относительных напряжений растяжения. Результаты показали вариацию величины напряжения растяжения в разных кристаллитах. Обнаруженная неоднородность может влиять на лучевую стойкость керамики. Впервые показана возможность оценки напряжений в магнитооптической керамике $\text{La}:\text{Er}_2\text{O}_3$ методом рамановской спектроскопии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rizal C., Shimizu H., & Mejía-Salazar J. R. Magneto-optics effects: New trends and future prospects for technological developments, 2022. // *Magnetochemistry*, 8(9), 94. DOI: 10.3390/magnetochemistry8090094.
2. Palashov O. [et al.]. Thermo-optical studies of laser ceramics, 2021. // *Materials*, 14(14), 3944. DOI: 10.3390/ma14143944.
3. Balabanov S. [et al.]. Fabrication and characterizations of holmium oxide based magneto-optical ceramics, 2020. // *Optical Materials*, 101(February), 109741. DOI: 10.1016/j.optmat.2020.109741.
4. Wojdyr M. Fityk: a general-purpose peak fitting program, 2010. // *Journal of Applied Crystallography*, 43(5), 1126–1128. DOI: 10.1107/S0021889810030499.
5. Ni Z.H. [et al.]. Raman spectroscopy of epitaxial graphene on a SiC substrate, 2008. // *Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys.* V.77, P. 1–6.

APPLICATION OF RAMAN SPECTROSCOPY FOR STRESS ASSESSMENT IN MAGNETO-OPTICAL $\text{La}:\text{Er}_2\text{O}_3$ CERAMICSE.N.

K.N. Belov¹, A.D. Gulm¹, M.G. Ivanov², N.D. Kundikova^{1,2}

¹*South Ural State University,*

(76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russia)

²*Institute of Electrophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*

(106 Amundsen Street, Yekaterinburg, 620016, Russia)

e-mail: belovkirillnikolaevich@gmail.com

Using Raman spectroscopy, an evaluation of relative mechanical stress was performed for the first time in 7% $\text{La}:\text{Er}_2\text{O}_3$ magneto-optical ceramic. The study revealed that the magnitude of tensile stress varies between different crystallites, a factor which could influence the ceramic's radiation resistance.

Keywords: magneto-optical ceramics, erbium oxide, Raman scattering, mechanical stress, radiation resistance.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ МОНОЛИТНЫХ ХРОМАТО-ДЕСОРБЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.А. Платонов¹, А.С. Брыксин¹

¹*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: 79376442669@yandex.ru*

На современном этапе развития аналитической химии значительное внимание уделяется задачам, связанным с обеспечением точности и воспроизводимости аналитических измерений. Одним из важнейших направлений в этой области является совершенствование существующих методов и средств приготовления газовых и жидких смесей известного состава, а также создание новых принципиальных подходов к получению стандартных образцов.

Ключевые слова: стандартные образцы, статические методы, монолитные хромато-десорбционные системы, экстракция, органические растворители.

В последние годы особый интерес в области получения газовых сред известного состава представляет хромато-десорбционный способ, позволяющий получать смеси заданного состава в процессе равновесного насыщения потока инертного газа летучими органическими соединениями при его прохождении через трубчатую систему, заполненную сорбентом с нанесённой жидкой фазой, содержащей известное количество целевых компонентов [1].

В данной работе предложено расширение хромато-десорбционного способа применительно к жидким средам. На основе принципов хромато-десорбционного способа были разработаны монолитные хромато-десорбционные системы (МХДС), обеспечивающие возможность получения растворов органических растворителей с заранее известным содержанием аналитов. Конструктивно МХДС представляют собой композиционный материал, состоящий из полимерной монолитной матрицы и нанодисперсного адсорбента, на поверхность которого сорбируется аналит. Монолитные материалы, обладают непрерывной структурой и развитой системой сквозных пор, что способствует эффективному конвективному переносу вещества и обеспечивает более стабильный режим высвобождения аналитов.

Целью настоящего исследования являлась сравнительная оценка работы (МХДС), изготовленных на основе различных полимерных материалов, в н-октане при воздействии экстремальных термобарометрических условий в статическом режиме экстракции. Экспериментальные образцы представляют собой полимерные стержни, содержащие в своем объеме равномерно распределенный аналит, предварительно нанесенный на нанодисперсный адсорбент. В качестве полимерной матрицы использовались эпоксидная и полиэфирная смолы. Аналитами в данном исследовании являлись жирные кислоты – тетрадекановая, пентадекановая, гексадекановая, а в качестве нанодисперсного адсорбента использовался диоксид кремния. Выбор

экстрагента обусловлен свойствами жирных кислот, имеющих высокую растворимость в неполярных органических растворителях.

Экспериментальные данные показали, что повышение температуры статической экстракции сопровождается одновременным увеличением концентрации целевых компонентов в экстрагенте и сокращением времени достижения квазистационарного состояния системы. Это объясняется ускорением процессов массопереноса и десорбции аналитов из полимерной матрицы. Кроме того, установлено влияние химической природы полимерного носителя на интенсивность высвобождения компонентов: монолиты, обладающие более гидрофобной структурой, характеризуются меньшим сопротивлением диффузии и обеспечивают более быстрый выход аналитов в раствор.

Погрешность концентраций в полученных растворах не превышала 10%, что свидетельствует о высокой воспроизводимости и потенциале метода для практического применения при приготовлении жидких стандартных образцов.

Проведённые исследования подтвердили эффективность использования МХДС для формирования жидких сред с контролируемым содержанием органорастворимых соединений. Разработанные материалы и подходы могут быть применены для создания стандартных образцов нового поколения, обеспечивающих стабильность состава и расширяющих возможности метрологического обеспечения аналитических измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.А. Платонов, О.В. Родинков, А.Р. Горбачева, Л.Н. Москвин, И.Н. Колесниченко, Методы и средства приготовления стандартных газовых смесей. // Журнал аналитической химии, 2018, т.73, № 2, с. 83-105.

A COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE OPERATION OF MONOLITHIC CHROMATO-DESORPTION SYSTEMS BASED ON VARIOUS POLYMERIC MATERIALS

I.A. Platonov, A.S. Bryksin

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: 79376442669@yandex.ru*

At the current stage of development in analytical chemistry, considerable attention is being paid to issues related to ensuring the accuracy and reproducibility of analytical measurements. One of the most important areas in this field is improving existing methods and means for preparing gaseous and liquid mixtures of known composition, as well as developing new fundamental approaches to obtaining standard samples.

Keywords: standard samples, static methods, monolithic chromato-desorption systems, extraction, organic solvents.

УКОРОЧЕНИЕ УФ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО KrF ЛАЗЕРА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ВЫРЕЗАНИЯ ЯЧЕЙКОЙ ПОККЕЛЬСА

П.В. Велиев^{1,2}, И. Ю. Еремеев^{1,2}, В.Д. Зворыкин^{1,2}, Г. Н. Леявский^{1,2},
Н.Н. Устиновский¹, А.В. Шутов¹

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
(119991, г. Москва, Ленинский пр-т)

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(115409, г. Москва, Каширское ш., 31)
e-mail: p.veliev@lebedev.ru

Временное сокращение и как следствие обострение импульсов KrF-лазера длительностью ~ 20 нс с разрядной накачкой было получено при синхронном отпираии и запираии кристалла ячейки Поккельса в схеме поляризационного затвора. Полученные формы и длительности представляются перспективными для эффективной временной компрессии в средах с нелинейным оптическим откликом [1-4].

Ключевые слова: временное сокращение, обострение фронтов импульсов, кристалл Поккельса (DKDP / дейтерированный дигидрофосфат калия), поляризационный затвор.

Узкополосное излучение с энергией импульса ≤ 200 мДж, расходимостью пучка $\sim 2 \cdot 10^{-4}$ рад, длительностью 20 нс по полной ширине на половине максимума (ПШПМ) и спектральной шириной $\Delta\nu \sim 0,2$ см⁻¹ было получено с помощью двухкамерного газоразрядного лазера Lambda Physik EMG TMS. Одна из камер которого генерирует узкополосное излучение, инжектируемое во вторую камеру - усилитель мощности, оснащенный неустойчивым резонатором. Выходное излучение с эллиптической поляризацией проходя через призмы Глана, поляризовались перпендикулярно оси поляризации кристалла DKDP (дейтерированный дигидрофосфат калия KD₂PO₄), с тремя серебряными электродами. При синхронном срабатывании драйверов, подключенных к электродам, происходило вырезание импульса. Длительности и формы импульсов регистрировались фотодиодами Thorlabs DET10A подключенных к осциллографу TDS 3054C 500 МГц (Tectonics). Для измерения более коротких импульсов излучения использовалась стрик-камера PS-1/S1(ИОФАН). В осциллограммах сигналов, полученных фотодиодом, наблюдалось сокращение длительностей (ПШПМ) и обострение фронтов.

Сокращённые таким методом импульсы (~ 3 нс) могут быть эффективно усилены в эксимерных усилителях и далее подвергнуты временной компрессии в ячейках с вынужденным комбинационным рассеянием (ВКР) и вынужденным рассеянием Мандельштама–Бриллюэна (ВРМБ)[4]. Такой подход позволяет формировать субнаносекундные и пикосекундные импульсы высокой энергии, что представляет интерес для задач инерциального термоядерного синтеза, лазерной спектроскопии, плазменной диагностики и генерации высоких гармоник.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Kuwahara, E Takahashi, Y. Matsumoto, S. Kato, Y. Owadano, Short-pulse generation by saturated KrF laser amplification of a steep Stokes pulse produced by two-step stimulated Brillouin scattering. // J. Opt. Soc. Am. B 2000, 17, 1943–1947.
2. E Takahashi, K. Kuwahara, Y. Matsumoto, I. Okuda, I. Matsushima, S. Kato, Y. Owadano, High-intensity short KrF laser-pulse generation by saturated amplification of truncated leading-edge pulse. // Opt. Commun. 2000, 185, 431–437.
3. E Takahashi, L.L Losev, Matsumoto, Y. Matsumoto, I. Okuda, I. Matsushima, S. Kato, H. Nakamura, K. Kuwahara, Y. Owadano, KrF laser picosecond pulse source by stimulated scattering processes. // Opt. Commun. 2003, 215, 163–167.
4. V.D. Zvorykin, G.E. Metreveli, I.V. Smetanin, A.V. Shutov, N.N. Ustinovskii, P.V. Veliev, Nonlinear Scattering of 248 nm Wavelength Light in High-Pressure SF₆ and CH₄ Gases for the Temporal Compression of a 20 ns KrF Laser Pulse. // Photonics 2024, 11, 39.

SHORTENING OF UV PULSES FROM A DISCHARGE-PUMPED KrF LASER BY THE ELECTRO-OPTICAL CLIPPING METHOD USING A POCKELS CELL.

P. V. Veliev^{1,2}, I. Y. Ereemeev^{1,2}, G. N. Lelyavskiy^{1,2}, V. D. Zvorykin^{1,2}, N. N. Ustinovskii¹, A. V. Shutov¹

¹Lebedev Physical Institute

(Leninsky Prospect, 53, Moscow, Russia, 119991)

²National Research Nuclear University "MEPhI"

(Kashirskoye Shosse 31, Moscow, Russia, 115409)

e-mail: p.veliev@lebedev.ru

Temporal shortening and consequent pulse sharpening of ~20 ns discharge-pumped KrF laser pulses was achieved by synchronous switching of the Pockels cell crystal in a polarization gate scheme. The resulting pulse shapes and durations appear promising for efficient temporal compression in media with a nonlinear optical response.

Keywords: temporal shortening, pulse front sharpening, Pockels cell (DKDP / deuterated potassium dihydrogen phosphate), polarization gate.

РАСТЕКАНИЕ ТОКА В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ЛИНЕЙКИ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ

В. С. Вязанкин, Н. В. Гультиков, А. А. Мармалюк

*АО НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха,
(117342, Москва, ул. Введенского, д. 3, корп. 1)
e-mail: vlad.viazankin@yandex.ru*

В работе исследуется проблема растекания тока в активной области лазерных диодов, существенно ограничивающая их ключевые характеристики. Для её анализа разработана модель, описывающая растекание тока в гетероструктуре линейки лазерных диодов. Особенностью модели является учёт неравномерного распределения концентрации носителей заряда по слоям гетероструктуры.

Ключевые слова: линейка лазерных диодов, растекание тока, меза-канавка.

Мощные линейки лазерных диодов (ЛЛД) являются ключевыми элементами в различных областях, от промышленной обработки материалов до медицины. Одной из основных проблем при проектировании таких ЛЛД является управление растеканием тока в поперечном направлении за пределы активной области излучающих полосок. Неограниченное растекание тока приводит к негативным эффектам: снижению эффективной плотности тока накачки, неконтролируемому возбуждению спонтанной эмиссии, и, как следствие, к ухудшению выходных характеристик ЛЛД.

В данной работе рассматривается модель растекания тока мощной линейки лазерных диодов, основой которой является стандартная конструкция двойной AlGaAs/GaAs гетероструктуры раздельного ограничения с расширенным волноводом и квантовой ямой в активной области. ЛЛД состоит из чередующегося набора идентичных излучающих полосок, разделенных пассивными областями в форме меза-канавок. Для упрощения рассматривалось растекание тока в пределах одного лазерного диода из состава линейки, остальные элементы будут работать аналогичным образом.

В рамках исследования изучалось влияние глубины меза-канавки на растекание тока. Расчетная оценка растекания тока выполнялась на основе анализа концентрации носителей квантовой ямы. Установлено, что увеличение глубины меза-канавки снижает растекание тока. Профиль распределения носителей заряда по излучающему элементу однороден в центральной части, однако на границе между пассивной и активной областями наблюдаются ярко выраженные локальные максимумы (рисунок 1). Меза-канавка, выступающая в роли изолирующего барьера, модифицирует распределение плотности тока, приводя к её резкому увеличению вблизи границы барьера. Чем эффективнее барьер (глубже канавка), тем более выраженным становится этот пик. Пиковая интенсивность излучения на границе областей возрастает, что потенциально может повлиять на порог возникновения катастрофической оптической деградации зеркал.

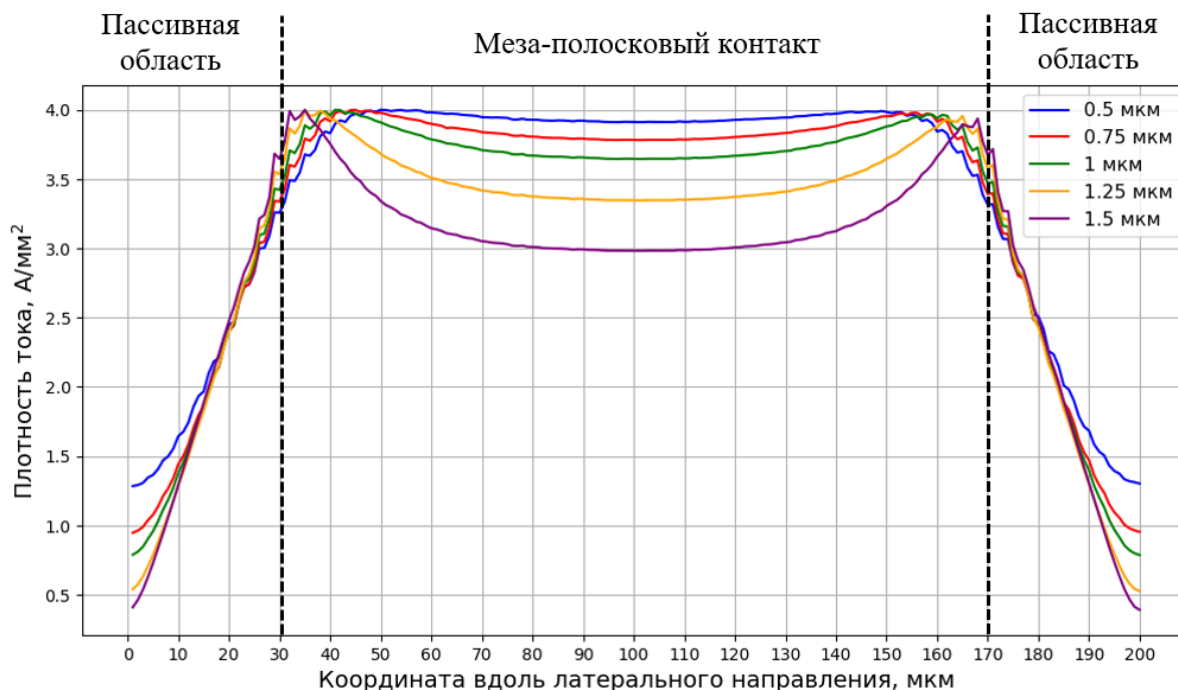


Рис. 1. Распределение плотности тока из активной области на разной глубине травления меза-канавки

CURRENT SPREADING IN THE ACTIVE REGION OF THE LASER DIODE BAR

V. S. VYAZANKIN, N. V. GULTIKOV, A. A. MARMALYUK

*Stelmakh Research Institute «Polyus»
(Vvedenskogo str., 3, Moscow, Russia, 117342)
e-mail: vlad.viazankin@yandex.ru*

This paper investigates the problem of current spreading in the active region of laser diodes, which significantly limits their key characteristics. An analytical model describing current spreading in the heterostructure of a laser diode bars was developed for its analysis. A distinctive feature of the model is the account of the non-uniform distribution of charge carrier concentration across the heterostructure layers.

Keywords: laser diode bar, current spreading, mesa recess.

МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АРХИТЕКТУРЫ RESNET50 ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВОЛНОВЫХ АБЕРРАЦИЙ

А.П. Дзюба¹, П.А. Хорин¹

¹Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: alexeydzyuba98@gmail.com

Представлен метод на основе **ResNet50** для автоматического распознавания одиночных и комбинированных волновых aberrаций по многоканальным распределениям интенсивности, полученным с помощью ДОЭ. Подход обеспечивает высокую точность и пригоден для применения в реальном времени в адаптивной оптике и офтальмологии.

Ключевые слова: глубокое обучение, ResNet50, волновые aberrации, классификация aberrаций, адаптивная оптика.

Введение

Волновые aberrации существенно влияют на качество изображений в астрономии, офтальмологии и микроэлектронике. Классические методы анализа требуют значительных вычислительных ресурсов, что ограничивает их применение в реальном времени. Ранее была обучена нейросеть Xception для распознавания одиночных aberrаций в фокальной и внефокальных плоскостях [1], однако при суперпозиции двух и более aberrаций точность снижалась. Для повышения точности предлагалось использовать многоканальные дифракционные оптические элементы (ДОЭ) [2].

Теоретические основы

В работе предлагается модифицированная архитектура ResNet50, решающая задачи классификации и регрессии для определения типов и величин волновых aberrаций. Остаточные связи обеспечивают устойчивость к затуханию градиента и высокую устойчивость к затуханию градиента и высокую точность на больших данных.

Аберрированный волновой фронт описывается выражением:

$$Z_n^m(r, \varphi) = \sqrt{\frac{n+1}{\pi r_0^2}} R_n^m(r) \begin{Bmatrix} \cos(m\varphi) \\ \sin(m\varphi) \end{Bmatrix}, \text{ где } R_n^m(r) \text{ — радиальные полиномы Цернике [3],}$$

$|m| \leq n$, $(n-m)$ — чётное.

Датасет и обучение

Для идентификации aberrаций по многоканальной картине интенсивности с несколькими функциями рассеяния точки (ФРТ) [7] сформирован датасет из **2400 изображений 255×255 px**. Рассматривались первые 8 типов положительных aberrаций ($m \geq 0$, $n \leq 4$) с весами от 0 до $0,3\lambda$. Данные включали как одиночные, так и двойные суперпозиции.

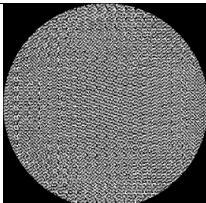
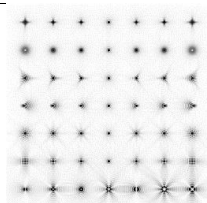
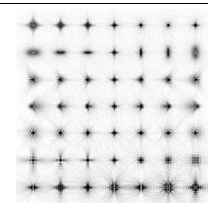
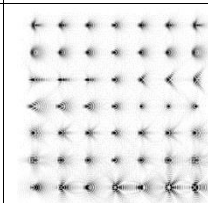
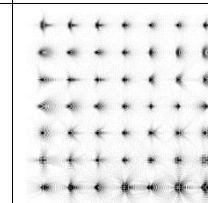
Фаза ДОЭ	Отсутствие аббераций (плоская волна)	Абберация типа (2,2) с весом 0,3	Абберация типа (3,1) с весом 0,3	Суперпозиция аббераций типа (2,2) с весом 0,2 и типа (3,1) с весом 0,2
				

Рис. 1. Фаза ДОЭ и фрагмент датасета

Результаты

Модифицированная ResNet50 показала высокую точность в определении типов и величин аббераций (MAE = 0.0056), превосходя традиционные методы. Модель обеспечивает корректное определение как одиночных, так и комбинированных аббераций, что делает её перспективной для применения в **адаптивной оптике** и других системах реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I.A. Rodin, S.N. Khonina, P.G. Serafimovich, S. Popov, Recognition of wavefront aberrations types corresponding to single Zernike functions from the pattern of the point spread function in the focal plane using neural networks // Computer Optics., 2020, v. 44(6). p. 923-930. DOI:10.18287/2412-6179-CO-810.
2. D. A. Dzyuba, P.A. Khorin, P.G. Serafimovich, S.N. Khonina, Wavefront Aberrations Recognition Study Based on Multi-Channel Spatial Filter Matched with Basis Zernike Functions and Convolutional Neural Network with Xception Architecture // Optical Memory and Neural Networks, 2024, v. 33(1), p. 53-64. DOI: 10.3103/S1060992X24700309.
3. V.N. Mahajan, Zernike circle polynomials and optical aberration of system with circular pupils // Applied Optics, 1994, v. 33(34), p. 8121-8124.

DEEP LEARNING METHODS BASED ON RESNET50 ARCHITECTURE FOR IDENTIFYING WAVE ABERRATIONS

A.P. Dzyuba¹, P.A. Khorin¹

¹Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: alexeydzyuba98@gmail.com

A ResNet50-based method is presented for automatic recognition of single and combined wave aberrations from multi-channel intensity distributions obtained using EBSD. The approach provides high accuracy and is suitable for real-time applications in adaptive optics and ophthalmology.

Keywords: deep learning, ResNet50, wave aberrations, aberration classification, adaptive optics.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТОВЫХ КРИВЫХ ПРИ НАЛИЧИИ ВОЛНОВЫХ АБЕРРАЦИЙ

Л.Б. Дубман¹

¹*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: lyuba.dubman13@gmail.com*

В данной работе рассматривается исследование влияния вихревой фазовой сингулярности и волновых aberrаций на искажение картины формирования световых кривых. Для формирования параметрического типа кривой использовалось преобразование Гиллиса, а дифракционные оптические элементы рассчитывались с использованием интеграла Уиттекера. Установлено, что влияние вихревой фазовой сингулярности сказывается, главным образом, на изменении амплитуды формируемой кривой в периферийной части, приводя к образованию зон с нулевой интенсивностью в центральной части. Показано также, что aberrации в оптических системах искажают волновой фронт и ухудшают качество изображения формируемых световых кривых. Различные типы aberrаций вносят характерные изменения в распределения интенсивности световых кривых, что может быть использовано для обнаружения и распознавания aberrаций.

Ключевые слова: световые кривые, полиномы Цернике, вихревая волна, aberrация, преобразование Гиллиса, преобразование Фурье, интеграл Уиттекера.

Генерация оптических полей с заданным распределением амплитуды и фазы является важной задачей в области оптической обработки данных и управления лазерными лучами [1].

Вихревые лучи [2] с фазовой сингулярностью структуры вызывают дислокации фронта волны, что приводит к появлению точек с нулевой интенсивностью в центре вихря и спиральному распределению фазы вокруг этих точек. Изучение поведения оптических вихрей, встроенных в структурированные лучи, позволяет глубже понять их взаимное влияние [3].

Aberrации в оптических системах [4] приводят к искажению фронта волны, что обычно ухудшает качество изображения. Полиномы Цернике [5] являются стандартным инструментом для описания таких aberrаций, так как они образуют полную ортогональную систему функций на единичном кольце и позволяют разложить произвольный фронт волны на компоненты, каждая из которых соответствует определенному типу aberrации [6].

В данной статье исследуется влияние вихревых фазовых сингулярностей и волновых aberrаций на искажение формирования световой кривой с использованием преобразования Гиллиса [7] и преобразования Фурье.

Полученные результаты могут быть полезны в области оптического захвата и манипулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Jesacher, C. Maurer, A. Schwaighofer, S. Bernet, and M. Ritsch-Marte, "Full phase and amplitude control of holographic optical tweezers with high efficiency," *Optics Express* 16 (7), 4479–4486 (2008). <https://doi.org/10.1364/OE.16.004479>.
2. M. S. Soskin, V. N. Gorshkov, M. V. Vastnetsov, J. T. Malos, and N. R. Heckenberg, "Topological charge and angular momentum of light beams carrying optical vortex," *Physical Review A* 56 (5), 4064–4075 (1997). <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.56.4064>.
3. A. P. Porfirev, A. A. Kuchmizhak, S. O. Gurbatov, S. Juodkasis, S. N. Khonina, and Yu. N. Kul'chin, "Phase singularities and optical vortices in photonics," *Physics-Uspekhi* 65 (8), 789–811 (2021). <https://doi.org/10.3367/UFNe.2021.07.039028>.
4. W. T. Welford, *Aberrations of Optical Systems* (CRC Press, Boca Raton, FL, 1986). <https://doi.org/10.1201/9781315136530>.
5. V. Lakshminarayanan and A. Fleck, "Zernike polynomials: a guide," *Journal of Modern Optics* 58 (7), 545–561 (2011). <https://doi.org/10.1080/09500340.2011.554896>.
6. V. N. Mahajan, "Zernike circle polynomials and optical aberration of system with circular pupils," *Applied Optics* 33 (34), 8121–8124 (1994).
7. L. Spíchal, "Superelipsa a superformule," *Matematika-Fyzika-Informatika* 29 (1), 54–69 (2020).

MODELING OF INTENSITY DISTORTIONS IN LIGHT CURVES IN THE PRESENCE OF WAVE ABERRATIONS

L.B. Dubman¹

¹*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia,
443086) e-mail: lyuba.dubman13@gmail.com*

The influence of vortex phase singularity and wave aberrations on the distortion of the pattern of formation of light curves is investigated. The Gillis transform was used to form the parametric type of the curve, and the diffraction optical elements were calculated using the Whittaker integral. It was found that the influence of vortex phase singularity mainly affects the change in the peripheral part of the amplitude of the formed curve and leading to the formation of zones with zero intensity in the central part. It is also shown that aberrations in optical systems distort the wavefront and degrading the image quality of formed light curves. Different types of aberrations introduce characteristic changes in the intensity distributions of light curves, which can be further used for detection and recognition of aberrations.

Keywords: light curves, Zernike polynomial, vortex beam, aberration, Gillis transform, Fourier transform, Whittaker integral.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ АНАЛИТОВ НА СКОРОСТЬ ВЫХОДА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.В. Дьякович¹, Д.В. Рахмонова², И.А. Платонов³

²Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: dyakovich.danila@mail.ru

²Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: diana.rahmonowa@yandex.ru

³Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: pia@ssau.ru

Работа посвящена изучению закономерностей диффузионного высвобождения производных бензойной кислоты из композиционных полимерных материалов. В качестве модельных соединений использованы бензойная, пара-метилбензойная и пара-пропилбензойная кислоты. Установлено, что увеличение длины алкильной цепи заместителя в бензольном кольце приводит к значительному росту скорости диффузионного высвобождения. Полученные результаты демонстрируют принципиальную возможность управления скоростью высвобождения органических соединений путём варьирования структуры молекул.

Ключевые слова: бензойная кислота, высокоэффективная жидкостная хроматография, диффузионное высвобождение, полимерные матрицы, хромато-десорбционные системы.

В современной аналитической химии всё большее значение приобретают методы создания растворов прогнозируемой концентрации диффузионными методами [1]. Широкий спектр применяемых в работе аналитов обуславливает необходимость разработки работоспособных в условиях определённой среды составов полимерных композитов, содержащих в своём объёме требуемые вещества.

Для исследования были изготовлены полимерные композиты на основе нанопористого гидрофобного кремнезёмного наполнителя и эпоксидной смолы марки ЭТАЛ 257 карбон в качестве связующего. В качестве модельных аналитов были взяты незамещённая бензойная кислота, 4-метилбензойная кислота и 4-пропилбензойная кислота, предварительно нанесённые на пористый адсорбент. Было исследовано по 3 одинаковых образца каждого состава. Экстракция проводилась в статических условиях при комнатной температуре в смеси органических растворителей в течение 24 часов со сменой экстрагента на чистый. Полученные экстракты исследовались методом обращённо-фазовой ВЭЖХ.

За счёт применения сорбента в составе композита происходит замедление высвобождения аналита в среду. На протяжении свыше 430 часов экстракции общий выход аналита не превышает 13% от загруженной массы аналита. В ходе проведённого исследования установлено, что с ростом длины углеродной цепи заместителя в пара-положении бензойной кислоты скорость диффузионного выделения аналита из полимерной матрицы значительно увеличивается. Для образцов, содержащих незамещённую бензойную и 4-метилбензойную кислоты, наблюдается схожий уровень

выхода, не превышающий 1,5%. Выход 4-пропилбензойной кислоты составляет $12,5 \pm 0,3$ % от изначально загруженной массы аналита. Наибольшую адекватность показывает степенная модель высвобождения Корсмайера-Пеппаса ($R^2 = 0,98$) для всех трёх случаев, свидетельствующего об сочетании диффузионного механизма высвобождения и частичного набухания матрицы [2].

Увеличение гидрофобности молекул за счет увеличения числа углеводородных радикалов облегчает выход молекул бензойной кислоты в смесь органических растворителей. Рост сродства к растворителю оказывает большее влияние чем удерживание аналита на сорбенте и снижение диффузионной подвижности ввиду роста молекулярной массы. Полученные результаты свидетельствуют о возможности влияния на скорость высвобождения органических молекул путём прививания радикалов различной длины.

Для увеличения сходимости и равномерности выхода необходима дополнительная модификация полимерной матрицы и дисперсного наполнителя, улучшающая равномерность распределения аналита в объёме связующего и сорбента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.А. Платонов, И.Н. Колесниченко, А.С. Брыксин, Е.А. Новикова, И.М. Муханова, Д.Л. Колесниченко, Получение стандартных газовых и жидких сред хромато-десорбционным методом. // Сорбционные и хроматографические процессы, 2024. – т.24, № 6, с. 858-884.
2. Н.Б. Мельникова, Оценка высвобождения лекарственных веществ из мягких лекарственных форм и прогнозирование проницаемости через кожный барьер (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств, 2024. – т.13, № 3, с. 52-65.

INFLUENCE OF ANALYTE STRUCTURE ON THE RELEASE RATE FROM POLYMER MATRICES OF COMPOSITE MATERIALS

D.V. Dyakovich¹, D.V. Rakhmonova², I.A. Platonov³

¹Samara National Research University, (Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: dyakovich.danila@mail.ru

²Samara National Research University,

(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: diana.rahmonowa@yandex.ru

³Samara National Research University,

(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: pia@ssau.ru

This study investigates the diffusion release patterns of benzoic acid derivatives from composite polymer materials. Benzoic acid, p-methylbenzoic acid, and p-propylbenzoic acid were used as model compounds. It was found that increasing the length of the alkyl chain substituent in the benzene ring leads to a significant increase in the diffusion release rate. The results demonstrate the fundamental feasibility of controlling the release rate of organic compounds by modifying their molecular structure.

Keywords: benzoic acid, high-performance liquid chromatography, controlled release, polymer matrices, chromato-desorption systems.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ДИФРАКЦИОННЫХ ПОРЯДКОВ КВАНТОВАННЫХ ОБОБЩЕННЫХ ЛИНЗ

О.А. Дюкарева

*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: dukarevaola@gmail.com*

В работе исследуются свойства распространения лазерных пучков, формируемых обобщенными линзами, квантованными по произвольному уровню и позволяющие генерировать заданные локальные максимумы на оптической оси и в поперечной плоскости фокуса. Рассмотрена комбинация квантованных оптических элементов для одновременного контроля за осевыми и внеосевыми дифракционными порядками.

Ключевые слова: обобщенная линза, бинаризация, дифракционные порядки.

В современной оптике активно развиваются направления, позволяющие создавать бинарные аналоги классических оптических элементов, а также увеличивать пропускную способность каналов связи посредством мультиплексирования с использованием множества степеней свободы светового поля. Вариации амплитудно-фазовой структуры пучков, особенно ортогональных и модовых распределений, эффективно реализуются методами дифракционной оптики и динамическими модуляторами, не требуют сложных и дорогостоящих систем, и таким образом расширяют возможности кодирования и (де-)мультиплексирования оптических сигналов [1, 2].

Известным подходом в оптическом мультиплексировании является использование дифракционных решеток с добавлением отклоняющего волнового фронта. Кроме того, возможно создание множества осевых фокусов на основе бинарных дифракционных линз [3, 4], а также формирование внеосевых порядков с помощью изогнутых решеток и конического волнового фронта.

В работе показано, что квантование по произвольному уровню, в отличие от квантования методом комплексного сопряжения, позволяет получать дифракционные максимумы не только нечетных, а всех возможных порядков за счет вариаций знаменателя дроби значения уровня бинаризации. Квантованная обобщенная линза позволяет генерировать порядки на оптической оси до фокуса, начиная с первого порядка, расположенного в основном фокусе. В отличие от дифракционных порядков квантованного клина, которые симметрично расположены относительно оптической оси, квантованная линза имеет только осевые порядки, причем отрицательного знака. Смещение области регистрации сигнала за счет добавления отклоняющего волнового фронта добавляет больше степеней свободы для задач, связанных с кодированием информации.

Комбинация из квантованной линзы и квантованного клина позволяет получать одновременно поперечное и продольное увеличение количества дифракционных

максимумов. При этом основная поперечная энергия приходится на первые симметричные порядки.

При последовательном двойном квантовании линзы и клина поперечная зависимость номеров дифракционных порядков от знаменателя уровня квантования клина не сохраняется, однако в продольном направлении дифракционные порядки продолжают зависеть от знаменателя уровня квантования линзы. Проведенные исследования расширяют спектр формируемых трехмерных распределений лазерных полей и, соответственно, возможных применений бинарных дифракционных оптических элементов.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-12-20007).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. X. Wang, D. Yan, Y. Chen, T. Qi, W. Gao, Parallel multiplexing optical spatial differentiation based on a superposed complex amplitude filter // Opt. Lasers Eng., 2025, v. 184, p. 108669.
2. Y.K. Su, Y. He, H.S. Chen, X.Y. Li, G.F. Li, Perspective on mode-division multiplexing // Appl. Phys. Lett., 2021, v. 118, p. 200502.
3. S.N. Khonina, A.V. Ustinov, R.V. Skidanov, A.P. Porfirev, Local foci of a parabolic binary diffraction lens // Appl. Opt., 2015, v. 54, p. 5680-5685.
4. A. Motogaito, Y. Iguchi, S. Kato, K. Hiramatsu, Fabrication and characterization of a binary diffractive lens for controlling focal distribution // Appl. Opt., 2020, v. 59, p. 742-747.

CONTROLLING SPATIAL DISTRIBUTION OF QUANTIZED GENERALIZED LENSES' DIFFRACTION ORDERS

O.A. Dyukareva

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: dukarevaola@gmail.com*

The paper investigates the propagation properties of laser beams generated by generalized lenses quantized at an arbitrary level and allowing generation of specified local maxima on the optical axis and in the transverse focus plane. A combination of quantized optical elements for simultaneous control of on-axis and off-axis diffraction orders is considered.

Keywords: generalized lens, binarization, diffraction orders.

НОВЫЕ МАРКЕРЫ НА ОСНОВЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р.А. Ермаков, И.А. Платонов, Е.Н. Тупикова

*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: osa-osa2001@mail.ru*

На основе комплексов редкоземельных элементов с органическими кислотами предложены новые маркеры для водных и органических сред, которые можно использовать в составе композиционных полимерных хромато-десорбционных систем. Проведен целенаправленный синтез комплексов, изучены их состав, структура и физико-химические свойства.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, маркеры, хромато-десорбционные системы, комплексы, полимерные композиты.

Разработка новых аналитических, диагностических и технологических маркеров для водных объектов и органических сред является одной из актуальных задач. Маркеры находят применение в нефтедобыче, медицине, для решения экологических проблем. Химические соединения редкоземельных элементов (РЗЭ) обладают превосходными оптическими, магнитными и люминесцентными свойствами, что делает их весьма перспективными для создания новых индикаторных, контрастных и отслеживающих компонентов [1]. Комплексы РЗЭ с органическими кислотами характеризуются высокой стабильностью, яркой люминесценцией и длительным сроком службы [2].

В работе синтезированы комплексные соединения лантанидов и иттрия с органическими кислотами: дипиколиновая, п-аминобензойная и фталевая. Методом фотометрического анализа установлен состав комплексов. Изучена растворимость синтезированных комплексов в водных и органических средах. Установлено, что растворимость комплексов зависит, как от природы комплексообразователя, так и лиганда. Синтезированные комплексы были нанесены на высокодисперсный кремнезем последовательной пропиткой растворами соли РЗЭ и лиганда. Были получены хромато-десорбционные системы, представляющие собой композиционные полимерные материалы с наполнителем из высокодисперсного диоксида кремния, содержащего синтезированные комплексы. Исследованы кинетические характеристики десорбции маркеров в модельных условиях, показавшие контролируемое высвобождение аналита в течение продолжительного времени. Установлена корреляция между составом комплексов РЗЭ и их десорбционными характеристиками.

Проведенные исследования позволили разработать прототипы хромато-десорбционных систем с повышенной селективностью, демонстрирующие стабильную работу, что открывает перспективы для создания новых аналитических платформ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Polyakov, V.O. Rare earth element oxides for tracing sediment movement [Text] / V.O. Polyakov, M.A. Nearing // Catena. – 2004. – Vol. 55, №3. – P. 255–276.
2. Janicki, R. Carboxylates of rare earth elements Coordination Chemistry: Reviews [Text] / R. Janicki, A. Mondry, P. Starynowicz // Coordination Chemistry Reviews. – 2017. – Vol.340. – P. 98–133.

NEW MARKERS BASED ON RARE EARTHS

R.A. Ermakov, I.A. Platonov, E.N. Tupikova

*Samara National Research University,
(Moskovskoye highway, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: osa-osa2001@mail.ru*

Based on complexes of rare earth elements with organic acids, new markers for aqueous and organic media have been proposed that can be used as part of composite polymer chromate desorption systems. A targeted synthesis of the complexes was carried out, their composition, structure, and physico-chemical properties were studied.

Keywords: rare earth elements, markers, chromato-desorption systems, complexes, polymer composites.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЕВЫХ АНТИОТРАЖАЮЩИХ СТРУКТУР РАЗЛИЧНОГО ПРОФИЛЯ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

С.С. Ермаков

*Самарский национальный исследовательский университет
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: ermakov_ss@inbox.ru*

В работе проведён сравнительный анализ кремниевых субволновых антиотражающих структур терагерцового диапазона. В результате численного моделирования методом конечных разностей во временной области получены спектры пропускания и распределения интенсивности поля для бинарных и многослойных структур различной геометрии. Проведена оценка влияния числа слоёв и формы структур на спектральные характеристики и определены оптимальные параметры для монохроматических и широкополосных приложений.

Ключевые слова: субволновые антиотражающие структуры, спектральные характеристики, FDTD-моделирование, терагерцовая оптика, численное моделирование.

Терагерцовое излучение, занимающее спектральный интервал от 0,1 до 10 ТГц, представляет значительный интерес для широкого круга оптических приложений включая неразрушающий контроль, спектроскопию, медицинскую визуализацию и сверхбыструю беспроводную связь [1,2]. В связи со всё большим распространением мощных источников терагерцового излучения, таких как гиротроны, квантово-каскадные лазеры и лазеры на свободных электронах [3], наибольшую актуальность приобретает разработка элементной базы терагерцовой оптики.

Помимо создания самих оптических элементов, важным аспектом является и их оптимизация, включающая снижение энергетических потерь, связанных с френелевским отражением. Эффективным способом снижения потерь являются субволновые антиотражающие структуры, которые отличаются высокой термостойкостью и обеспечивают антиотражающие свойства в широком спектральном диапазоне [4].

Как показано в [4], наибольшей эффективностью в случае монохроматического излучения обладают бинарные прямоугольные антиотражающие структуры, однако даже современные методики формирования микрорельефа не всегда позволяют создать подобный субволновый рельеф с постоянными параметрами, что приводит к необходимости учёта технологических ограничений в процессе расчёта. Данный учёт может включать в себя аппроксимацию исходной прямоугольной геометрии гладкими поверхностями второго или более высших порядков.

В случае же широкополосных или широкоугольных приложений, даже идеальный прямоугольный рельеф начинает быстро терять эффективность и для таких задач необходима корректировка геометрии антиотражающих структур путём замены бинарного профиля многоуровневым с заданным законом изменения фактора заполнения вдоль продольной координаты структуры [4].

Эффективность антиотражающих многоуровневых структур или аппроксимированной бинарной структуры не может быть рассчитана аналитически с

высокой точностью, что приводит к необходимости использования численного моделирования с использованием строгой электромагнитной теории, заключающееся в решении уравнений Максвелла методом конечных разностей во временной области.

В данной работе был проведён сравнительный анализ различных геометрий антиотражающих структур методом численного моделирования. Были получены спектральные характеристики бинарной прямоугольной, а также многоуровневых полуэллиптической, пирамидальной и конической структур, нанесённых на поверхность высокоомного кремния как одного из наиболее распространённых материалов терагерцовой оптики. Проведён угловой анализ спектральных характеристик в диапазоне от 0° до 65° с целью определения наиболее устойчивой к угловому падению формы. Также были проанализированы распределения интенсивности в области со структурами, что позволило оценить влияние геометрии на пространственное распределение энергии. Проведённые исследования позволили выявить наиболее эффективные формы структур для различных оптических приложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ashish, P. Terahertz technology and its applications / P. Ashish, D.D. Sonawane, K.B. Erande [and others] // Drug Inventions Today. – 2013. – vol. 5. – p. 157-163.
2. Терагерцовая фотоника. Коллективная монография / Москва: РАН. – 2023. – с. 712
3. Lewis, R.A. A review of terahertz sources / R.A. Lewis // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2014. – vol. 47. - № 37. – pp. 374001.
4. Raguin. D.H., Anti-reflection structured surfaces / D.H. Raguin, G. Michael Morris // Optics and Photonics News. - 1992. - vol. 3. - № 12. - P. 33-33.

OPTICAL PROPERTIES OF SILICON ANTIREFLECTIVE STRUCTURES OF VARIOUS SHAPES IN THE TERAHERTZ RANGE

S.S. Ermakov

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: ermakov_ss@inbox.ru*

A comparative analysis of silicon subwavelength antireflection structures in the terahertz range is presented. Finite-difference time-domain (FDTD) simulations were performed to obtain transmission spectra and field intensity distributions for binary and multilayer structures of various geometries. The influence of layer number and structural shape on spectral characteristics was evaluated, and the optimal geometrical parameters for monochromatic and broadband applications were identified.

Keywords: subwavelength antireflection structures, spectral characteristics, FDTD modeling, terahertz optics, numerical simulation.

РАСЧЕТ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДИФРАКЦИОННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

А. Ю. Иванчук[✉], Д. Р. Иванчук, С. А. Фомченков

¹ Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева
(443086, г. Самара, Московское ш., 34)
e-mail: tsickina.nastya@yandex.ru

Аннотация. В работе показано моделирование и расчет ДОЭ для распознавания образов. Предложен технологический процесс по изготовлению ДОЭ, включающий в себя литографию и прямую лазерную запись сфокусированным излучением. Исследованы режимы и технология создания элемента, оптимизированы параметры. Изучен изготовленный элемент.

Ключевые слова: распознавание образов, фотолитография, прямая лазерная запись, 4F система.

Одной из приоритетных задач в научной среде во все времена является увеличение вычислительной мощности машин и рост скорости выполнения тех или иных расчетов. Одно из основных направлений, в которых идет работа: разработка оптических логических и вычислительных элементов. Данная тема активно используется в пространственных преобразованиях оптических сигналов, а именно в пространственном интегрировании и дифференцировании. Можно выделить основную из всех сфер применения оптических методов обработки информации, это решение задачи распознавания во всех ее аспектах.

Материалы и методы

Для решения данной задачи в работе был смоделирован, изготовлен и исследован дифракционный оптический элемент в пленке фоторезиста. Для нанесения была использована центрифуга POLOS. Толщина получившейся пленки была измерена на профилометре KLA Alpha-step D-500 и составила 3,8 мкм.

Для экспонирования фоторезиста была использована станция круговой лазерной записи CLWS 200S. При генерации машинного файла записи было выбрано 256 уровней градаций микрорельефа. Проект представлял собой файл формата bmp в градациях серого с глубиной цвета 8 бит на пиксель. Данный подход позволяет аппроксимировать непрерывный фазовый микрорельеф многоступенчатыми структурами. Машинный файл генерировался из рассчитанного в результате моделирования bmp файлы и представлен на рисунке 1.

Далее, после прямой лазерной записи сфокусированным лазерным излучением, на поверхности подложки была сформирована структура ДОЭ.

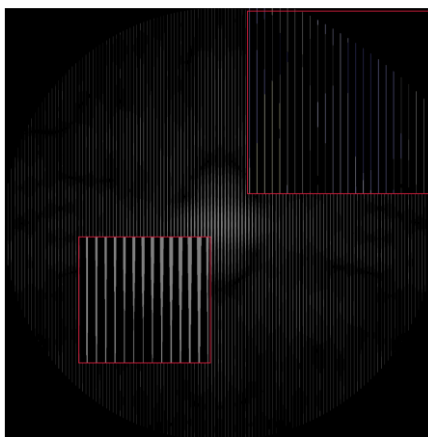


Рис. 1. Шаблон ДОО с участками локального увеличения

Результаты. Изготовленный ДОО был исследован с помощью контактного метода зондовой микроскопии на профилометре KLA Alpha-step D-500 и интерферометре Zygo NewView 7300. Высота микрорельефа по результатам измерений составила 480 нм, при расчетной высоте микрорельефа равной 450 нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Изготовленный элемент соответствует расчетам с погрешностью 6,6%. Изготовленный предложенным способом дифракционный оптический элемент в составе оптической схемы, позволят осуществлять распознавание образов заданных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А.И. Физико-химические основы приборостроения: учебное пособие/ А.И. Власов, В.П. Жалнин, К.В. Селиванов – изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024г.
2. Ефремов А.А. изготовление и контроль оптических деталей: учебное пособие/ А.А. Ефремов, Ю.В. Сальников – Москва: изд-во Высшая школа, 1983г.
3. Методы компьютерной оптики/ А.В. Волков, Д.Л. Головашкин, Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский, В.В. Котляр, В.С. Павельев, Р.В. Скиданов, В.А. Сойфер, В.С. Соловьев, Г.В. Успенъев, С.И. Харитонов, С.Н. Хонина, под ред. В.А. Сойфер – Москва: Физматлит, 2003г.

CALCULATION AND MANUFACTURE OF A DIFFRACTION FILTER FOR PATTERN RECOGNITION

A. Y. Ivanchuk ^{1✉}, D. R. Ivanchuk ¹, S. A. Fomchenkov ¹

¹ Samara National Research University
named after academician S.P. Korolev
(443086, Samara, Moskovskoe shosse, 34)
e-mail: tsickina.nastya@yandex.ru

Annotation. The paper shows the modeling and calculation of DOE for pattern recognition. A technological process for the manufacture of DOE is proposed, which includes lithography and direct laser recording with focused radiation. The modes and technology of creating the element are investigated, the parameters are optimized. The manufactured element has been studied.

Keywords: image recognition, photolithography, direct laser recording, 4F system.

РАСЧЕТ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДИФРАКЦИОННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ МАТРИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Д. Р. Иванчук ^{1✉}, А. Ю. Иванчук ¹, С. А. Фомченков ¹

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
(443086, г. Самара, Московское ш., 34)
e-mail: danila.ivanchuk@yandex.ru

Аннотация. В работе продемонстрированы результаты моделирования и расчетов ДОЭ для осуществления матричных вычислений. Предложен технологический процесс по изготовлению ДОЭ, включающий в себя напыление пленки металла, прямую лазерную запись сфокусированным излучением и химическое травление. Исследованы режимы и технология создания элемента, оптимизированы условия. Изучен итоговый элемент.

Ключевые слова: магнетронное напыление, прямая лазерная запись, матричные вычисления, плазмохимическое травление.

ВВЕДЕНИЕ

Популярной на сегодняшний день задачей в научной среде является увеличение вычислительной мощности систем и рост скорости выполнения тех или иных расчетов. Одно из основных направлений, в котором идет работа: разработка оптических логических и вычислительных элементов. Данная тема активно используется в пространственных преобразованиях оптических сигналов, а именно в пространственном интегрировании и дифференцировании. Можно выделить важную из всех сфер применения оптических методов обработки информации, это сфера решения задачи матричных вычислений.

Материалы и методы

Технологический процесс состоит из 3 основных этапов: напыление, запись, травление. Напыление производилось на установке вакуумного магнетронного напыления.

С целью создания маски для травления в пленке хрома использовалась станция лазерной записи CLWS 200S, которая предназначена для записи микрорельефа с помощью сфокусированного лазерного излучения

Рассчитанная маска для записи имеет разрешение 8192×8192 пикселей и представлена на рисунке 1.

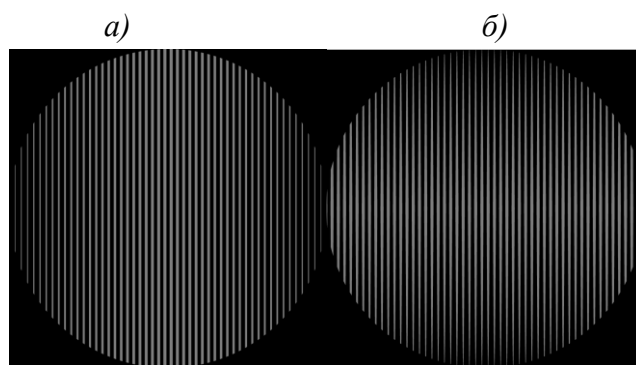


Рис. 1 Рассчитанные ДОЭ, выполняющие дифференцирование по осям X и Y (a и б соответственно)

Для удаления нетронутого слоя хрома был применен метод жидкостного травления. Время проявления составило 7 мин

Затем следовал процесс плазмохимического травления. Глубина травления составила 600 нм. Глубина травления отличается от рассчитанной (590 нм) с погрешностью изготовления составляет 2%

Результаты

Изготовленный ДОЭ был исследован на профилометре KLA Alpha-step D-500 и Zygo NewView 7300. Высота микрорельефа изготовленного ДОЭ составила 600 нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изготовленный предложенным способом дифракционный оптический элемент в составе оптической схемы, позволят осуществлять матричные вычисления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арбузов В.И. Основы радиационного оптического материаловедения/ В.И. Арбузов – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2008г.
2. Методы компьютерной оптики/ А.В. Волков, Д.Л. Головашкин, Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский, В.В. Котляр, В.С. Павельев, Р.В. Скиданов, В.А. Сойфер, В.С. Соловьев, Г.В. Успенев, С.И. Харитонов, С.Н. Хонина, под ред. В.А. Сойфер – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2003г.
3. Вейко В.П. Изготовление дифракционных оптических элементов и фотошаблонов с амплитудным пропусканием/Лазерные технологии в микрооптике. Ч. 1/ В.П. Вейко, В.П. Корольков, А.Г. Полещук, Д.А. Синев, Е.А. Шахно – СПб, 2017г.

CALCULATION AND MANUFACTURE OF A DIFFRACTION FILTER FOR MATRIX CALCULATIONS

D. R. Ivanchuk ^{1✉}, A. Y. Ivanchuk ¹, S. A. Fomchenkov ¹

¹ *Samara National Research University named after academician S.P. Korolev*
(443086, Samara, Moskovskoe shosse, 34)
e-mail: danila.ivanchuk@yandex.ru

Annotation. The paper demonstrates the results of modeling and calculations of DOE for the implementation of matrix calculations. A technological process for the manufacture of DOE is proposed, which includes spraying a metal film, direct laser recording with focused radiation, and chemical etching. The modes and technology of creating the element are investigated, the conditions are optimized. The final element has been studied.

Keywords: magnetron sputtering, direct laser recording, matrix calculations, chemical etching.

ФОТОГЕНЕРАТОРЫ КИСЛОТЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В СИНТЕЗЕ ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ

Н.В. Измайлова, Л.Г. Самсонова, Р.М. Гадиров

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
(634050 г. Томск, ул. Ленина, 50)
e-mail: izmailova.sfti@gmail.ru*

С целью поиска новых фотогенераторов кислот была изучена фотохимическая активность ряда вновь синтезированных соединений в образовании тритильного катиона для синтеза олигонуклеотидов. Соединения L1, L2, L3 являются фотоактиваторами детритилирования 5'-О-(4,4'-диметокситритил)тимидина. Реакция детритилирования наиболее эффективна в дихлорметане.

Ключевые слова: фотогенераторы кислот, тритильный катион, олигонуклеотиды.

Для использования в приложениях биологии необходимы большие массивы олигонуклеотидов. В работе обсуждается подход, использующий фотоактивированное детритилирование [1], при этом все остальные стадии наращивания олигонуклеотидной цепи являются традиционными и хорошо отработанными.

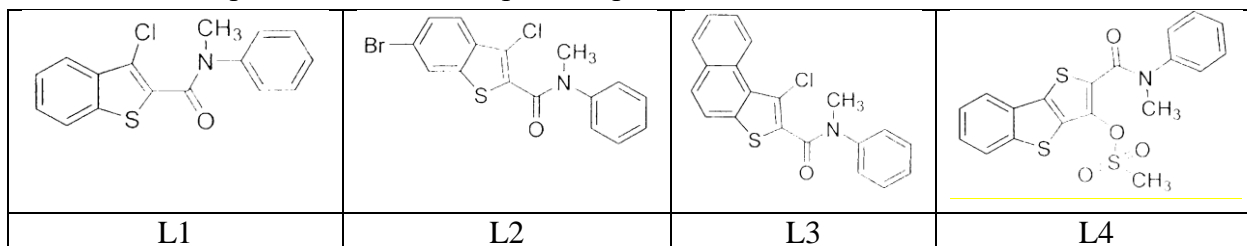


Рис 1. Структурные формулы исследуемых соединений

Объектами исследования были новые соединения-фотогенераторы кислоты, синтезированные в институте органического синтеза им. И.Я. Постовского, структурные формулы которых представлены на рис.1 обозначенные по тексту шифрами L1, L2, L3, L4. Для подтверждения наличия кислотных свойств были приготовлены растворы исследуемых соединений в дихлорметане и толуоле в концентрациях 10⁻⁵ М/л, 10⁻⁴ М/л. В качестве источника возбуждения использовался лазер Nd:YAG (3 гармоника, λ=355нм, схема установки представлена на рис. 2). Индикатором кислоты было выбрано сложно замещенное соединение пиримидина (4,6-бис[5-(9-этил-9Н-карбазол-3-ил)тиофен-2-ил]пиримидин), спектр поглощения протонированной формы которого лежит далеко от спектров поглощения исследуемых соединений. В кислых средах это соединение легко протонируется, окрашивая раствор в малиновый цвет. При лазерном фотолизе соединений L1 и L3 в толуоле образования кислоты индикатором зафиксировано не было, в отличие от L2 и L4. В дихлорметане индикатором зафиксировали образование кислоты во всех соединениях L1-L4.

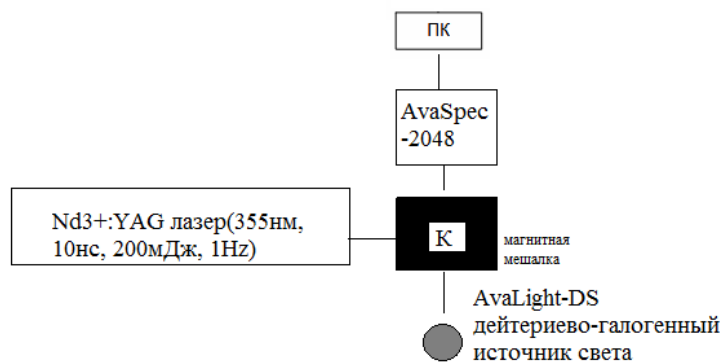


Рис 2. Схема экспериментальной установки. Буквами на рисунке обозначены: К – оптическая кварцевая кювета, ПК – персональный компьютер.

В модельных опытах по детритилированию было установлено, что 5'О (4,4'-диметокситритил) 2' дезокситимидин в концентрации 5×10^{-5} М подвергается количественному детритилированию L1-L4 в дихлорметане при облучении Nd:YAG ($\lambda = 355$ нм; энергия импульса 40 мДж/импульс).

По оптической плотности на 506нм (максимум поглощения катиона тритила) определяли наличие или отсутствие реакции детритилирования. Показано, что в дихлорметане при лазерном возбуждении все соединения образуют кислоту, которая участвует в реакции детритилирования. Соединения L3-L4 использовались в концентрации 10-4М, а соединения L1 и L2 использовались в концентрации 10-3М, ввиду малого коэффициента молярной экстинкции на $\lambda = 355$ нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sinyakov, A.N., Nikolaenkova, E.B., Os'kina, I.A. et al. Photogenerator of trichloroacetic acid as a promising detritylation agent for oligonucleotide microarray synthesis. Russ J Bioorg Chem 40, 586–588 (2014). <https://doi.org/10.1134/S1068162014050124>

ACID PHOTOGENERATORS FOR APPLICATIONS IN OLIGONUCLEOTIDE SYNTHESIS

N.V. Izmailova, L.G. Samsonova, R.M. Gadirov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,

(50 Lenin Street, Tomsk, 634050)

e-mail: izmailova.sfti@gmail.ru

To identify new acid photogenerators, the photochemical activity of a number of newly synthesized compounds in the formation of trityl cations for oligonucleotide synthesis was studied. Compounds L1, L2, and L3 are photoactivators of 5'-O-(4,4'-dimethoxytrityl)thymidine detritylation. The detritylation reaction is most effective in dichloromethane.

Keywords: acid photogenerators, trityl cation, oligonucleotides

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПЕРАТОРА ДИВЕРГЕНЦИИ

А.И. Кашапов^{1,2}, Е.А. Безус^{1,2}, Д.А. Быков^{1,2}, Л.Л. Досколович^{1,2}

¹ИСОИ РАН, НИЦ «Курчатовский институт»
(443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 151)

²Самарский национальный исследовательский университет
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: ar.kashapov@gmail.com

В работе исследовано оптическое вычисление оператора дивергенции для двумерного векторного поля, состоящего из поперечных компонент электрического поля падающего светового пучка, с помощью четырехслойной металлодиэлектрической структуры на металлической подложке. Представленные результаты численного моделирования рассчитанной слоистой структуры показывают вычисление оператора дивергенции с высоким качеством.

Ключевые слова: оптические вычисления, резонанс, металлодиэлектрическая структура, спиновый эффект Холла.

В данной работе рассмотрено оптическое вычисление оператора дивергенции с помощью четырехслойной структуры "Au–TiO₂–Au–TiO₂" на подложке из золота. Толщины слоев рассчитанной структуры составляют 5,2 нм, 39,6 нм, 52,5 нм и 70,7 нм. Было получено, что исследуемая структура удовлетворяет условиям для оптического вычисления дивергенции при угле падения 25 градусов и длине волны 633 нм. В отличие от более сложных решений [1, 2], предложенных ранее, рассматриваемая структура является компактной и относительно простой с технологической точки зрения.

На рис. 1 представлен пример применения исследуемой структуры для вычисления оператора Лапласа. Поскольку дивергенция градиента скалярной функции равна лапласиану этой функции, то рассчитанная структура при входном поле (рис. 1а,б), соответствующем градиенту некоторой функции $E_{0,x}$ (врезка на рис. 1а), позволит (с точностью до множителя) вычислить оператор Лапласа для данной функции (рис. 1в). Для оценки точности оптического вычисления оператора Лапласа было рассчитано нормированное среднеквадратичное отклонение модуля x -компоненты отраженного пучка (рис. 1в) от модуля аналитически рассчитанного оператора Лапласа (рис. 1г), которое составило 2.09%.

Таким образом, представленный пример демонстрирует возможность оптического вычисления оператора Лапласа с помощью слоистой металлодиэлектрической структуры, осуществляющей оптическое вычисление оператора дивергенции.

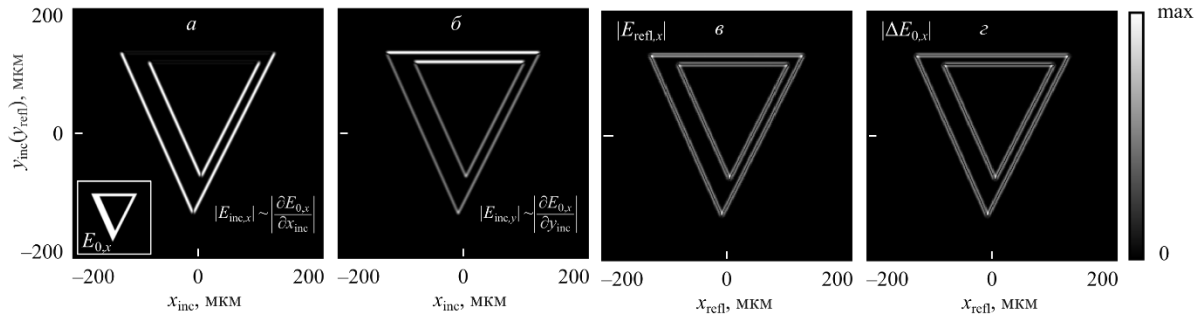


Рис. 1. (а), (б) – Поперечные компоненты электромагнитного поля падающего пучка, (в) – модуль поля, формируемого при отражении поля на рис. (а), (б) от исследуемой структуры и (г) – модуль аналитически рассчитанного оператора Лапласа для входного поля на врезке рис. (а). На врезке на рис. (а) показано исходное изображение в виде обозначения оператора набла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

5. Y. Lou, Y. Fang, Z. Ruan, Optical computation of divergence operation for vector fields // Phys. Rev. Appl., 2020, v. 14, art. no. 034013.
6. H. Mohammadi, M. Akbari, A. Khavasi, All optical divergence and gradient operators using surface plasmon polaritons // Opt. Express, 2022, v. 30(11), p. 17806–17823.

APPLICATION OF METAL-DIELECTRIC LAYERED STRUCTURE FOR OPTICAL COMPUTATION OF THE DIVERGENCE OPERATOR

A.I. Kashapov^{1,2}, E.A Bezus^{1,2}, D.A. Bykov^{1,2}, L.L. Doskolovich^{1,2}

¹Image Processing Systems Institute, NRC “Kurchatov Institute”
(Molodogvardeyskaya str., 151, Samara, Russia, 443001)

²Samara National Research University
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: ar.kashapov@gmail.com

An optical computation of the divergence operator for a two-dimensional vector field, representing the transverse components of the electric field of an incident light beam, has been achieved using a layered structure. As an example of a layered structure that computes this operator upon reflection, a four-layer metal-dielectric structure on a metallic substrate is proposed. The presented numerical simulation results of the designed layered structure demonstrate high-quality computation of the divergence operator.

Keywords: optical computing, resonance, metal-dielectric structure, spin Hall effect.

ШИРОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ФЕРРИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФАЗЫ В СМЕСЯХ НЕПОЛЯРНЫХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ И НЕМЕЗОГЕННЫХ ХИРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.В. Кузнецов¹, А.Д. Клепач¹, Ю.П. Бобылев¹, Е.П. Пожидаев¹

¹Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
(119991, г. Москва, Ленинский проспект, д.53)
e-mail: plutosmann@gmail.com

Целью данной работы является изучение условий возникновения широкотемпературной ферриэлектрической фазы в жидкокристаллических смесях. Для этого построена фазовая диаграмма одной из смесей. Впервые в смеси нематического жидкого кристалла и немезогенного хирального соединения индуцирована ферриэлектрическая фаза. Идентификация ферриэлектрической фазы производилась диэлектрическими и электрооптическими методами.

Ключевые слова: ферриэлектрические фазы, немезогенные хиральные соединения, неполярные жидкие кристаллы, фазовая диаграмма, фазовый переход, диэлектрическая восприимчивость, поляризация.

Экспериментально построена фазовая диаграмма смеси ахирального смектического С жидкого кристалла 2-(4'-пентилбифенил-4-ил)-5-гексил-пиримидин (BPP-65) и хирального немезогенного соединения (S,S)бис-(1,1,1-трифторокт-2-ил)-4,4''-терфенилдикарбоксилат (FODTA-6). Фазовая диаграмма, представленная на рисунке 1, отображает температурные и концентрационные области существования различных мезофаз смеси: ферриэлектрической (Ferri), сегнетоэлектрической смектической С* (SmC*), хиральной нематической (N*), изотропной (Is) и кристаллической (Cr). Показаны также двухфазные области сосуществования изотропной и смектической С* фазы, а также кристаллической и смектической С* фазы.

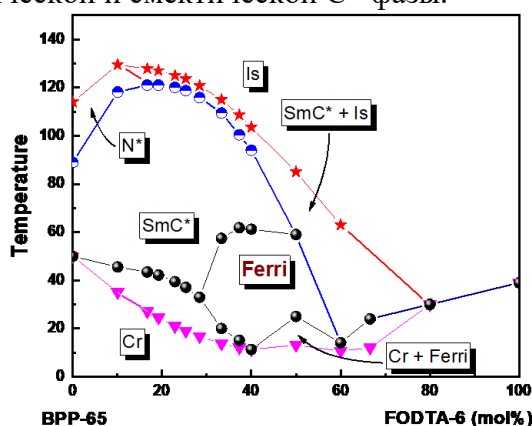


Рисунок 1 – Фазовая диаграмма смеси ахирального смектика С BPP-65 и FODTA-6

Фазовая диаграмма показывает существование эвтектики при 40 % мольных FODTA-6, причём при указанной эвтектической концентрации при нагревании смеси из предварительно полученного путём охлаждения твёрдого кристалла происходит фазовый переход в ферриэлектрическую фазу, которая в данном случае является промежуточной между твёрдым параэлектрическим кристаллом и сегнетоэлектрической смектической С* фазой. Температурный интервал энантиотропной ферриэлектрической фазы в данном случае составляет 47 °С : от 15 °С до 62 °С.

В смеси нематического жидкого кристалла (опубликованного в работе [2]) и FODTA-6 впервые в мире индуцирована ферриэлектрическая фаза, доказательством существования которой является наличие двух фазовых переходов в электрическом поле [1], что в нашем случае иллюстрируется рисунком 2, где определены критические поля E_{cp1} и E_{cp2} .

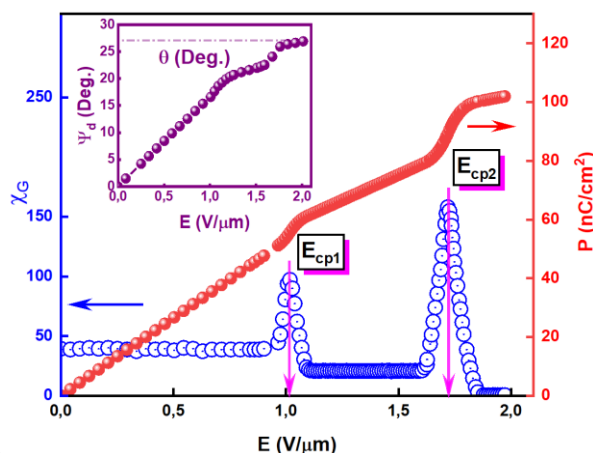


Рисунок 2 – Зависимость поляризации P (красные шарики) и диэлектрической восприимчивости χ_G (синие кружки) ферриэлектрической смеси нематического ЖК и FODTA-6 от приложенного электрического поля. На вставке зависимость угла отклонения оптической оси Ψ_d ферриэлектрического ЖК (фиолетовые шарики) от электрического поля.

Ферриэлектрическая фаза смеси охарактеризована измерениями пороговой диаграммой температурных зависимостей E_{cp1} и E_{cp2} , электростатической энергии и температурного интервала существования.

Благодарность: данное исследование финансировалось Российским научным фондом (РНФ), грант № 24-22-00239.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.V. Emelyanenko, E.P. Pozhidaev, N.M. Shtykov, V.E. Molkin, Antiferroelectric Liquid Crystal Display: Electrically Controlled Birefringence Color Switch as a New Mode J. of the SID, 2008, **16**(8), 811 - 817. DOI: 10.1889/1.2966442.
2. E.P. Pozhidaev, E.M. Budynina, A.V. Kuznetsov, S.I. Torgova, T.P. Tkachenko, V.A. Barbashov, Short helix pitch ferroelectric liquid crystals induced in nematic matrix by chiral non-mesogenic dopants, J. Mol. Liq. 391 (2023) 123351, doi.org/10.1016/j.molliq.2023.123351.

HIGH-TEMPERATURE FERRIELECTRIC PHASES IN MIXTURES OF NONPOLAR LIQUID CRYSTALS AND NON-MESOGENIC CHIRAL COMPOUNDS

A.V. Kuznetsov, A.D. Klepach, Yu.P. Bobylev, E.P. Pozhidaev

The purpose of this work is to study the conditions of occurrence of a high-temperature ferrielectric phase in liquid crystal mixtures. For this purpose, a phase diagram of one of the mixtures is constructed. For the first time, a ferrielectric phase has been induced in a mixture of a nematic liquid crystal and a non-mesogenic chiral compound. Identification of the ferrielectric phase was performed using dielectric and electro-optical methods. It is shown that minimizing electrostatic energy is not a sufficient condition for inducing a ferrielectric phase in mixtures.

Keywords: ferrielectric phases, non-mesogenic chiral compounds, nonpolar liquid crystals, phase diagram, phase transition, dielectric susceptibility, polarization.

МУЛЬТИКЛАССОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖНОГО ПОКРОВА

А.И. Комлев

*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: andrei.komlev@yandex.ru*

Кожные новообразования могут нанести значительный вред человеку, их диагностика является важным этапом в мониторинге состояния организма человека. Множество проектов подразумевает бинарную классификацию болезней, либо положительный, результат, либо отрицательный. В этой статье представлен прототип ансамбля нейронных сетей для более точной классификации новообразований, он способен классифицировать 4 вида новообразований, меланома, базальноклеточный рак, кератоз и невусы.

Ключевые слова: новообразования, рак, нейронные сети, наборы данных.

Используя модели для классификации новообразований кожного покрова, обычно используют бинарные классификаторы [1] для определения злокачественное или доброкачественное новообразование на теле пациента.

Но такой подход хоть и приносит пользу в том плане, что находит опасные родинки, но не сужает круг поиска заболевания, что так же может сказать на дальнейшем лечении человека. Ждать результаты биопсии можно до недели рабочего времени, в зависимости от загруженности лабораторий. Так же биопсия связана с повреждением дермы, что так же доставляет неудобство пациенту.

Данный тезис представляет вам прототип нейронной сети для мультиклассовой классификации новообразований кожи. Он обучен на наборе данных из ISIC 2019 [2], но данный набор пришлось видоизменить, из-за того, что данный набор не очень большой по количеству изображений, но включает в себя 8 классов. Было принято объединить эти классы в 4 больших группы, Basal cell carcinoma (BCC), Benign keratosis (BKL), Melanoma (MEL), Nevus (NV). Таким образом были созданы 4 больших класса, этого хватит для успешного обучения сети.

Использовалась следующая архитектура сети 4 блока базовых слоёв (Conv2D, Conv2D, BatchNorm, MaxPooling2D и блок слежения CBAM[3]) и плотный слой с 4 выходами для классификации заболевания. результаты такой тестовой модели следующие.

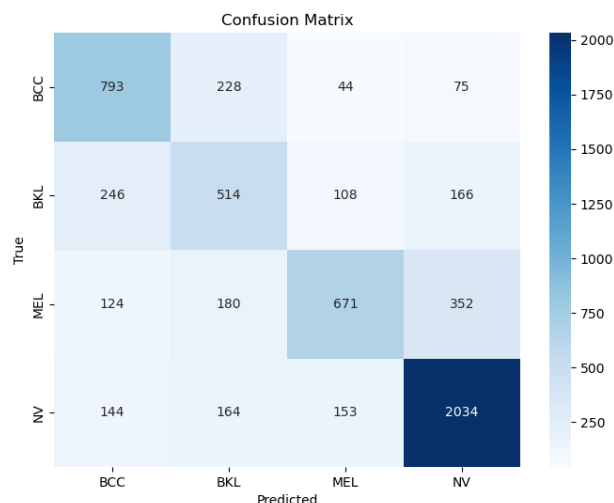


Рисунок 1 – Результаты обучения сети проверенные на тестовом наборе данных

В заключении, хочется сказать, что для прототипа данная сеть справилась хорошо, что предполагает продолжение работы в данном направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комлев А.И., Матвеева И.А. Архитектура сверточной нейронной сети для задачи диагностики новообразований кожи //Енисейская фотоника – 2024. – 2024. -Т2. С160-162.
2. ISIC Challenge 2019 [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: <https://challenge.isic-archive.com/landing/2019/>
3. Woo S. et al. Cbam: Convolutional block attention module //Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV). – 2018. – С. 3-19.

MULTICLASS CLASSIFICATION OF NEOPLASMS OF THE SKIN

A.I. Komlev

*Samara National Research University ,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: andrei.komlev@yandex.ru*

Skin neoplasms can cause significant harm to humans, and their diagnosis is an important step in monitoring the condition of the human body. Many projects involve a binary classification of diseases, either positive, resultant, or negative. This article presents a prototype of an ensemble of neural networks for a more accurate classification of neoplasms, it is able to classify 4 types of neoplasms, melanoma, basal cell carcinoma, keratosis and nevi.

Keywords: neoplasms, cancer, neural networks, datasets.

ОЦЕНКА ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

А.А. Кривецкая^{1,2,3}, Т.А. Савельева^{1,2}, Д.М. Кустов¹, В.В. Левкин⁴,
И.Д. Романишкин¹, С.С. Харнас⁴, В.Б. Лощенов^{1,2}

¹Институт общей физики им. Прохорова РАН (119991, г. Москва, ул. Вавилова, 38)

²Инженерно-физический институт биомедицины Национального исследовательского ядерного университета МИФИ (115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31)

³ГБУЗ города Москвы «Городская клиническая больница имени С.С. Юдина Департамента здравоохранения города Москвы» (117152, г. Москва, Загородное шоссе, 18А)

⁴Университетская Клиническая больница №1 Первого МГМУ им. Сеченова (119435, г. Москва, ул. Большая Пироговская, 6, стр.1)
e-mail: annakrivetskaya1998@gmail.com

Работа посвящена разработке алгоритма определения оптических свойств биологических тканей для персонализации лазерно-индуцированных методов лечения.

Ключевые слова: оптические свойства, персонализация лазерно-индуцированной терапии.

При проведении терапии с лазерно-индуцированным воздействием, в том числе фотодинамической терапии, определение параметров лазерного воздействия, таких как диаметр светового пятна, время экспозиции, плотность мощности, осуществляется по обобщенным протоколам. При этом чаще всего учитывается доза, которая будет доставлена к тканям, несмотря на то, что не весь объем этой дозы будет поглощен биологическими тканями. Соответственно, для персонализации лазерно-индуцированного воздействия необходимо осуществлять оценку поглощенной дозы в каждом конкретном случае, что возможно осуществить посредством учета оптических свойств биологических тканей.

Оптические свойства биологических тканей включают коэффициенты поглощения и рассеяния, а также фактор анизотропии. Для восстановления всех трех параметров необходимо проводить измерения в трех геометриях с последующей обработкой данных при помощи разрабатываемого алгоритма на основе обратного метода удвоения-добавления.

Регистрация спектральных данных осуществляется на спектрофотометре с интегрирующей сферой Hitachi U-3400. Измеряемые образцы включают оптические фантомы и ткани желудочно-кишечного тракта, разделенные на слизисто-подслизистый и серозно-мышечный слой. Также для подготовки методики оценки оптических свойств в клинических условиях измерение образцов проводится при помощи спектрометра ЛЭСА-01-БИОСПЕК. В данном случае измерения проводятся в двух геометриях, регистрируются спектры диффузного отражения и пропускания, что позволяет

восстановить два параметра – коэффициент поглощения и редуцированный коэффициент рассеяния.

В данной работе представлены результаты применения разрабатываемого алгоритма для восстановления оптических свойств фантомов, имитирующих биологические ткани, и образцов тканей пищевода, желудка и тонкой кишки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 25-25-00516.

EVALUATION OF OPTICAL PROPERTIES OF GASTROINTESTINAL TRACT TISSUES FOR PERSONALIZATION OF LASER-INDUCED EFFECTS

A.A. Krivetskaya^{1,2,3}, T.A. Savelieva^{1,2}, D.M. Kustov¹, V.V. Levkin⁴, I.D. Romanishkin¹, S.S. Kharnas⁴, V.B. Loschenov^{1,2}

*¹Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences
(Vavilova str., 38, Moscow, Russia, 119991)*

*²Institute of Engineering Physics for Biomedicine, National Research Nuclear University
MEPhI*

(Kashirskoe shosse, 31, Moscow, Russia, 115409)

*³SBHI of the City of Moscow “S.S. Yudin City Clinical Hospital of the Moscow City
Healthcare Department” (Zagorodnoye Highway, 18A, Moscow, Russia, 117152)*

*⁴Department of Faculty Surgery No. 1, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University
(Bolshaya Pirogovskaya str., 6, building 1, Moscow, Russia, 119435)
e-mail: annakrivetskaya1998@gmail.com*

The work is devoted to the development of the method for determining the optical properties of biological tissues for the personalization of laser-induced treatment methods.

Keywords: optical properties, personalization of laser-induced therapy.

ЭНЕРГИИ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕАКЦИИ БЕНЗОНИТРИЛА С МЕТИНОВЫМ РАДИКАЛОМ

Л.И. Крикунова^{1,2}, Д.П. Порфирьев^{1,2}, В.Н. Аяззов^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королёва,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

²Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)
e-mail: lubov_markova@inbox.ru

В данной работе рассмотрена реакция бензонитрила (C_6H_5CN) с метиновым радикалом (CH). Построен срез поверхности потенциальной энергии. Для всех структур найдены оптимальные геометрии, частоты колебаний и значения потенциальных энергий на уровне теории функционала плотности с использованием гибридного метода $\omega B97xd/cc-pvtz$.

Ключевые слова: метиновых радикал, бензонитрил, теория функционала плотности, поверхность потенциальной энергии.

Обнаружение бензонитрила (C_6H_5CN) в молекулярном облаке ТМС-1 стало знаковым событием в астрохимии, подтвердив присутствие в межзвёздной среде ароматических структур – ключевых предшественников сложной органики. Данное открытие актуализирует вопрос об эффективных путях формирования и превращения подобных молекул в условиях космоса [1]. В данном исследовании методом квантово-химического моделирования изучаются каналы образования продуктов реакции бензонитрила с метиновым радикалом (CH), являющимся одним из наиболее распространенных и реакционноспособных агентов в межзвёздных облаках [2].

Использованная вычислительная модель аналогична моделям, применявшимся в предыдущих исследованиях [3]. Для оптимизации геометрий реагентов, промежуточных соединений, переходных состояний и продуктов использовался гибридный метод функционала плотности $\omega B97X-D$ с базисным набором Даннинга $cc-pVTZ$. Вибрационные частоты были рассчитаны на том же уровне теории. Относительные энергии локальных экстремумов на поверхности потенциальной энергии были получены с использованием метода связанных кластеров $CCSD(T)-F12$ [4]. Кроме того, энергии всех структур приведены относительно энергии исходных реагентов в ккал/моль.

Образование аддуктов реакции происходит безбарьерно, в силу высокой реакционной способности метинового радикала. Дальнейшие преобразования аддуктов позволяют получить циклические структуры. Продукты реакции представлены на срезе диаграммы поверхности потенциальной энергии на рисунке 1.

Работа В.Н. Аяззова была поддержана Российским научным фондом (грант № 25-22-00409).

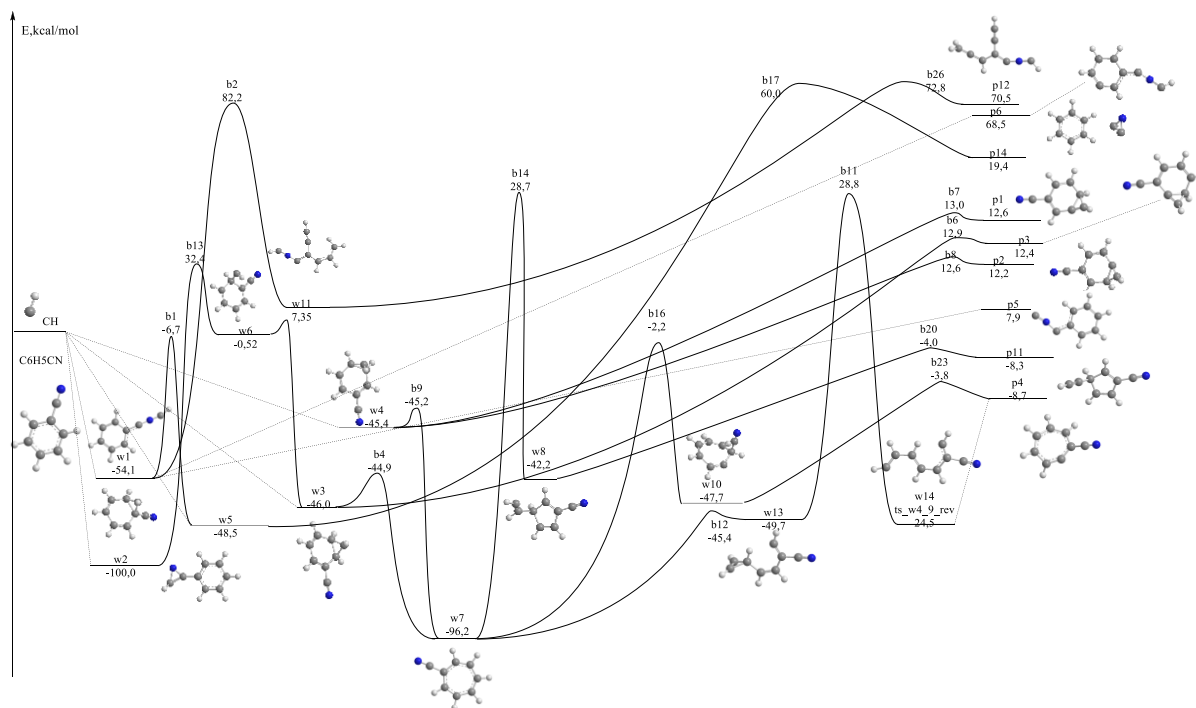


Рис. 1. Срез поверхности потенциальной энергии бензонитрила с метиновым радикалом C_6H_5CN+CH

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.A. Nikolayev, V.N. Azyazov, R.I. Kaiser, A.M. Mebel, J. Phys. Chem. A. 2021, 125, 9536.
2. C. He, K. Fujioka, A.A. Nikolayev, L. Zhao, S. Doddipatla, V.N. Azyazov, A.M. Mebel, R. Sun, R.I. Kaiser, Phys. Chem. Chem. Phys. 2022, 24, 578.
3. L.I. Krikunova, L.I., Nikolayev, A. A., Porfiriev, D. P., & Mebel, A. M. (2023). Reaction of propionitrile with methylidyne: A theoretical study. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 70(3), 439-450.
4. G. Knizia, «Simplified CCSD(T)-F12 methods: Theory and benchmarks» The Journal of Chemical Physics. – 2009. – Vol. 130(5). – P. 1-21.

THEORETICAL STUDY C_6H_5CN+CH REACTION UNDER COLD SPACE

L.I. Krikunova^{1,2}, D.P. Porfirev^{1,2}, V.N. Azyazov^{1,2}

¹Samara National Research University, (Russia, Samara, Moskovskoye shosse, 34, 443086)

²Lebedev Physical Institute, Samara Branch, (Russia, Samara, Novo-Sadovaya str., 221, 443011)

e-mail: lubov_markova@inbox.ru

This work investigates the reaction of benzonitrile (C_6H_5CN) with the methylidyne radical (CH). A segment of the potential energy surface has been constructed. The optimal geometries, vibrational frequencies, and potential energies for all structures were determined using density functional theory with the hybrid ω B97X-D functional and the cc-pVTZ basis set.

Keywords: methylidyne, benzonitrile, density functional theory.

РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ БИОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЦИТОХРОМА C

Н.В. Саутина¹, В.Г. Никифоров², А.Г. Шмелев², Е.О. Кудрявцева²,
Ю.Г. Галяметдинов¹

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет
(420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68)

²Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского
(420029, г. Казань, Сибирский тракт, 10/7)

e-mail: elena.o.kudryavtseva@yandex.ru

В работе синтезированы и методом рамановской спектроскопии охарактеризованы биосовместимые микроэмульсии и лиотропные жидкие кристаллические системы АОТ/вода/изопропилмиристат. Установлено, что увеличение содержания АОТ вызывает переход к более упорядоченным жидкокристаллическим структурам. Исследованы механизмы взаимодействия цитохрома C с компонентами синтезированных систем.

Ключевые слова: жидкие кристаллы, микроэмульсии, цитохром C, Рамановская спектроскопия

Самоорганизующиеся системы поверхностно-активных веществ, такие как микроэмульсии и лиотропные жидкие кристаллы, являются перспективными носителями для доставки лекарств и биологически активных веществ [1]. Микроэмульсии представляют особый интерес из-за их способности солюбилизировать широкий спектр гидрофильных и гидрофобных веществ, повышая их биодоступность и максимальный срок службы фармацевтических составов, а также упрощая их производство [2]. В свою очередь лиотропные жидкие кристаллы, обладающие высокой внутренней упорядоченностью, сходной с липидным слоем кожи, обеспечивают контролируемую инкапсуляцию, локализацию и высвобождение лекарственных средств [3].

В данной работе синтезированы и методом рамановской спектроскопии охарактеризованы новые биотранспортные системы с потенциалом физиологической совместимости: микроэмульсии и лиотропные жидкие кристаллы, состоящие из бис(2-этилгексил)сульфосукцината натрия (АОТ) / воды / изопропилмиристата. Отличительной особенностью этих универсальных систем является возможность модификации и контроля их надмолекулярной организации в процессе доставки и высвобождения различных биоматериалов. Для исследования структурных переходов, возникающих в результате связывания воды головными группами АОТ, были получены рамановские спектры, которые показали, что увеличение содержания АОТ модифицирует самоорганизацию систем, инициируя переход к более упорядоченным жидкокристаллическим структурам, которые являются перспективными платформами для биосенсорики и тераностики.

В синтезированных системах исследована солюбилизация цитохрома C – небольшого гемсодержащего белка, используемого для лечения рака. Установлены его адсорбционные взаимодействия с АОТ и определена локализация белка в микроэмульсии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nicze M. et al. Current and Promising Oral Delivery Methods for Protein- and Peptide-Based Drugs (review), *Int J Mol Sci.*, 2024, 25(2), 815-825.
2. Nilanjan Pal, Yara Alzahid, Abdulkareem M. AlSofi, Muhammad Ali, and Hussein Hoteit. Review on Microemulsions for Conformance Improvement Technology: Fundamentals, Design Considerations, and Perspectives // *Energy & Fuels* **2023** 37 (2), 858-875.
3. Suhaimi H., Rose L. Skin and Liquid Crystal: A brief review on their similarities. *Oriental Journal of Chemistry*, 2016, 32(4), 2073–2078.

RAMAN SPECTROSCOPY IN THE STUDY OF BIOTRANSPORT SYSTEMS FOR CYTOCHROME C DELIVERY

N.V. Sautina¹, V.G. Nikiforov², A.G. Shmelev², E.O.Kudryavtseva², Yu.G. Galyametdinov¹

¹*Kazan National Research Technological University (420015, Kazan, 68 Karl Marx Street)*

²*Zavoysky Physical-Technical Institute (420029, Kazan, 10/7 Sibirskiy Tract)*

e-mail: elena.o.kudryavtseva@yandex.ru

In this study, biocompatible microemulsions and lyotropic liquid crystalline systems of AOT/water/isopropyl myristate were synthesized and characterized using Raman spectroscopy. It was found that increasing the AOT content leads to a transition to more ordered liquid crystalline structures. The mechanisms of interaction between cytochrome C and the components of the synthesized systems were investigated.

Keywords: liquid crystals, microemulsions, cytochrome C, Raman spectroscopy

СТРУКТУРА И СОСТАВ НАНОКОМПОЗИТА ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ГИДРОКСИАПАТИТОМ

С.Ю. Кулагина¹, С.А. Нефедов¹

¹*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: kulagina4@ya.ru*

Методом лазерной абляции в жидкости синтезирован наноккомпозит пористый кремний-гидроксиапатит для остеопластики. Установлены оптимальные параметры абляции: мощность 8-12 Вт, частота импульсов 20-50 кГц, скорость сканирования 300-500 мм/с, обеспечивающие получение сферических частиц размером 1-3 мкм с минимальным разбросом. Показано, что снижение мощности и частоты импульсов увеличивает выход порошка в 5-8 раз.

Ключевые слова: лазерная абляция, наноккомпозит, пористый кремний, гидроксиапатит, остеопластика, биоматериалы.

Лазерная абляция представляет перспективный метод синтеза наноккомпозитных порошков для биомедицинских применений. В работе исследована возможность создания наноккомпозита пористый кремний-гидроксиапатит (ПК-ГАП) методом лазерной абляции для применения в остеопластике.

Методика эксперимента. Лазерную абляцию проводили на установке с импульсным иттербиевым волоконным лазером ($\lambda=1062$ нм, длительность импульса 100 нс) в воде. Исследовали влияние параметров абляции: мощности (8-20 Вт), частоты следования импульсов (25-100 кГц) и скорости сканирования (100-1000 мм/с). Морфологию частиц анализировали методами СЗМ и РЭМ.

Установлено, что параметры лазерной абляции существенно влияют на размеры и выход частиц наноккомпозита. При снижении мощности с 20 до 8 Вт наблюдается уменьшение числа частиц >3 мкм в 10 раз и увеличение общего выхода порошка в 8 раз. Уменьшение частоты импульсов с 100 до 50 кГц приводит к увеличению выхода порошка в 5 раз.

Оптимальными параметрами являются: мощность 8-12 Вт, частота импульсов 20-50 кГц, скорость сканирования 300-500 мм/с. В этих условиях формируются сферические частицы размером 1-3 мкм с минимальным стандартным отклонением (5,3-6,5%).

СЗМ-анализ показал, что частицы имеют оплавленную сферическую форму, что свидетельствует о термическом воздействии лазерного излучения. Рамановская спектроскопия подтвердила наличие характерных линий ГАП (423, 585, 960 см^{-1}) и кремния (520 см^{-1}) в составе наноккомпозита.

Разработана методика синтеза наноккомпозита ПК-ГАП методом лазерной абляции. Установлены оптимальные параметры процесса, обеспечивающие получение сферических частиц контролируемого размера с высоким выходом. Полученные результаты открывают перспективы создания биodeградируемых материалов для остеопластики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов Н.А. и др. Одноимпульсная абляция кремния ультракороткими лазерными импульсами // Письма в ЖЭТФ. - 2018. - Т.115, №1. - С.20-27.
2. Lehmann V. Electrochemistry of Silicon. - Weinheim: Wiley-VCH, 2002. - 289 p.

GUIDELINES FOR PAPER LAYOUT

S.Yu. Kulagina¹, S.A. Nefedov¹

*¹Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: kulagina4@ya.ru*

A porous silicon-hydroxyapatite nanocomposite for osteoplasty was synthesized by laser ablation in liquid. Optimal ablation parameters were established: power 8-12 W, pulse frequency 20-50 kHz, scanning speed 300-500 mm/s, ensuring the production of spherical particles 1-3 μm in size with minimal size distribution. It is shown that reducing the power and pulse frequency increases the powder yield by 5-8 times.

Keywords: laser ablation, nanocomposite, porous silicon, hydroxyapatite, osteoplasty, biomaterials.

ЛАЗЕР НА МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМАХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ С ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ НА ДВУХ ДЛИНАХ ВОЛН

Р.А. Курамшин^{1,2}, М.В. Загидуллин¹, П.А. Михеев¹, А.П. Торбин¹

¹Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

²Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: kuramshinr2001@mail.ru

Разработана модель активной среды лазера на метастабильных атомах Ag с накачкой на двух длинах волн: основной – 811.5 нм на переходе $1s_5 \rightarrow 2p_9$ и вспомогательной – 810.4 нм на переходе $1s_4 \rightarrow 2p_7$. Вспомогательная накачка необходима для возвращения в лазерный цикл возбужденных атомов Ag, накапливающихся на уровне $1s_4$ во время работы лазера. Добавление вспомогательной накачки показало существенный рост предельно возможных удельных мощностей накачки и лазерной генерации.

Ключевые слова: лазер, метастабильный атом, инертный газ, импульсно-периодический разряд.

Получение мощной лазерной генерации высокого качества по прежнему является актуальной задачей. В настоящий момент разработаны сборки лазерных диодов с мощностью свыше 10 кВт, однако качество их излучения значительно хуже дифракционного. Решить эту проблему можно используя лазер на метастабильных атомах инертных газов с оптической накачкой (ЛОНИГ). Активной средой этого лазера является смесь инертных газов, которая позволяет преобразовывать низкокачественное излучение диодных лазеров в мощное излучение с высоким качеством.

Лазерный цикл ЛОНИГ начинается с наработки метастабильных атомов Ag на нижнем лазерном уровне $1s_5$ в тлеющем разряде. Следующим шагом является оптическая накачка на переходе $1s_5 \rightarrow 2p_9$. В ходе столкновений частиц на уровне $2p_9$ с атомами Ne заселяется верхний лазерный уровень $2p_{10}$. Между уровнями $2p_{10}$ и $1s_5$ создается инверсия населенностей и происходит лазерная генерация. Однако, в ходе обратного столкновительного перехода $1s_5 \rightarrow 1s_4$ и спонтанных переходов $2p \rightarrow 1s_4$, часть электронно-возбужденных атомов Ag накапливается на уровне $1s_4$, который не участвует в лазерном цикле. Релаксация частиц с уровня $1s_4$ на уровень $1s_5$ происходит медленнее, чем спонтанный процесс перехода $1s_4$ в основное состояние 1S . Это приводит к потере концентрации метастабильных частиц, участвующих в лазерном цикле и снижению выходной мощности. Способом решения этой проблемы является использование вспомогательной накачки с уровня $1s_4$, которая будет возвращать атомы, накопившиеся в состоянии $1s_4$, обратно в лазерный цикл.

Целью работы являлась демонстрация действия вспомогательной накачки на выходную мощность лазерной генерации. Для этого была разработана модель активной среды лазера, включающая кинетику плазмы разряда при оптическом возбуждении. Для

исследования была выбрана смесь газов Ar/He. Активная среда с единственной основной накачкой на переходе $1s_5 \rightarrow 2p_9$ была смоделирована в работе [1]. Разработанная нами модель дополнительно включала вспомогательную накачку $1s_4 \rightarrow 2p_7$. Аналитические выражения для концентраций возбужденных состояний Ar были определены из уравнений скоростей реакций в квазистационарном приближении. В отличие от [2] анализ проводился в приближении просветления переходов накачки и лазерной генерации, что позволило определить максимально возможные значения удельных мощностей накачки и генерации.

Показано, что добавление вспомогательной накачки приводит к росту максимально возможной удельной выходной мощности до 12-ти раз при эффективности преобразования накачки 66%. Следует отметить, что полученные результаты носят скорее качественный характер, поскольку константы энергообменных процессов, в том числе ключевого процесса $1s_4 \rightarrow 1s_5$, известны не точно.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-22-00392, <https://rscf.ru/project/25-22-00392/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. V. Zagidullin, P. A. Mikheyev Kinetic analysis of an optically pumped rare gas lasing medium with a nanosecond repetitively pulsed discharge in Ar-He mixture. // Optics & Laser Technology, 2025. v. 181, p. 111702.
2. P. Sun, D. Zuo, X. Wang, J. Han, M. C. Heaven Investigation of dual-wavelength pump schemes for optically pumped rare gas lasers // Optics Express, 2020, v. 28(10), p. 14580-14589.

DUAL-WAVELENGTH OPTICALLY PUMPED METASTABLE ATOM LASER

R.A. Kuramshin^{1,2}, M.V. Zagidullin¹, P.A. Mikheyev¹, A.P. Torbin¹

¹*Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

²*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

e-mail: kuramshinr2001@mail.ru

The active medium of a metastable Ar laser was simulated with pumping at two wavelengths: the primary pump at 811.5 nm for the $1s_5 \rightarrow 2p_9$ transition and the secondary pump at 810.4 nm for the $1s_4 \rightarrow 2p_7$ transition. The secondary pump is necessary to reactivate the excited Ar atoms accumulated at the $1s_4$ level during the primary optical pumping. Enabling secondary pumping significantly increased the maximum output power of laser generation.

Keywords: laser, metastable atom, inert gas, pulsed-periodic discharge.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНТРОЛИРУЕМОГО ВЫСВОБОЖДЕНИЯ АНАЛИТОВ В ВОДНУЮ СРЕДУ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ХРОМАТО- ДЕСОРБЦИОННЫХ СИСТЕМ

М.Ю. Лабаев, И.А. Платонов, И. М. Муханова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика

С.П. Королева, (443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: maxlabaev@gmail.ru

В работе исследуются закономерности высвобождения аналитов в водную среду из полимерных композиционных хромато-десорбционных систем. Показано, что кинетика десорбции описывается степенной зависимостью. Выявлена роль структуры аналитов и межфазных зон композита в формировании контролируемых концентраций, что подтверждает перспективность систем для создания стандартных растворов.

Ключевые слова: хромато-десорбционные системы, нанодисперсные адсорбенты, статическая экстракция, ОФ ВЭЖХ.

Обеспечение метрологической надёжности результатов количественного химического анализа является ключевым требованием для современных аналитических технологий. Особенно актуальной эта задача становится при работе с низкими концентрациями аналитов в водных средах, где приготовление стандартных калибровочных растворов сопряжено со значительными трудностями. Классические методы зачастую приводят к погрешностям из-за нестабильности разбавленных растворов и сложности точного дозирования, что негативно влияет на воспроизводимость аналитических измерений.

В качестве решения предлагается использовать монолитные композиционные хромато-десорбционные системы (ХДС) для дозированного высвобождения аналитов и создания растворов с заданной концентрацией. Данные системы представляют собой полимерные композиты, содержащие нанодисперсный диоксид кремния с предварительно сорбированным веществом. В качестве модельных аналитов были использованы девять синтетических красителей: Е 102, Е 104, Е 110, Е 122, Е 124, Е 129, Е 131, Е 133 и Е 142.

Методика синтеза ХДС заключается в сорбции целевого аналита на наночастицах диоксида кремния с последующим их диспергированием в полимерной матрице для формирования монолитного композита. Подобный подход гарантирует однородное распределение вещества по всему объёму изделия, что сводит к минимуму погрешности при его дальнейшем использовании в качестве источника для приготовления стандартных растворов.

Исследование процесса высвобождения аналитов проводилось в статическом режиме. Хромато-десорбционные системы помещались в 100 мл деионизированной воды, после чего водную фазу полностью заменяли каждые 24 часа. Концентрацию десорбированного красителя в полученных растворах измеряли методом ВЭЖХ с диодно-матричным детектором. Это позволило изучить профили десорбции и

установить время, по истечении которого система переходит в режим квазистационарного высвобождения аналита.

Установлено, что параметры процесса (скорость и полнота десорбции) определяются химической природой аналита, а также структурой полимерной матрицы и типом используемого сорбента. Варьирование этих факторов открывает возможность управления процессом для получения растворов с требуемыми концентрационными характеристиками. Для нескольких исследованных красителей была достигнута высокая стабильность и воспроизводимость скорости высвобождения, что подтверждает применимость систем в качестве долговременных источников аналита.

Основными преимуществами разработанного подхода являются минимизация ошибок оператора и возможность многократного применения одного и того же композита. Кроме того, предложенная технология обеспечивает стабильность аналита при длительном хранении в составе полимерной матрицы, расширяя горизонты его практического использования.

Предложенный метод может быть адаптирован для широкого спектра как органических, так и неорганических соединений, что подтверждает его универсальность. Это делает хромато-десорбционные системы перспективным инструментом для решения задач в области экологического мониторинга и контроля технологических процессов, таких как индикаторные исследования для определения зон обводнения в горизонтальных нефтяных скважинах.

Таким образом, полученные данные демонстрируют высокий потенциал монолитных композиционных ХДС. Они могут успешно применяться не только в качестве надёжного инструмента для приготовления стандартных растворов в аналитической практике, но и как эффективное средство для решения прикладных задач технологического контроля.

PATTERNS OF CONTROLLED RELEASE OF ANALYTES INTO THE AQUATIC ENVIRONMENT FROM POLYMER COMPOSITE CHROMATO-DESORPTION SYSTEMS

M.Y. Labaev, I.A. Platonov, I. M. Mukhanova

*Samara National Research University named after academician
S.P. Korolev, (Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: maxlabaev@gmail.ru*

The paper examines the patterns of release of analytes into the aqueous medium from polymer composite chromate desorption systems. It is shown that the desorption kinetics is described by a power dependence. The role of the analyte structure and the interfacial zones of the composite in the formation of controlled concentrations is revealed, which confirms the prospects of systems for creating standard solutions.

Keywords: chromato-desorption systems, nanodispersed adsorbents, static extraction, RP HPLC.

ФОРМИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СВЕТОВЫХ КРИВЫХ НА ОСНОВЕ СОВМЕЩЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ СПИРАЛЬНЫХ ФАЗОВЫХ ПЛАСТИНОК С КОМПОЗИЦИОННОЙ ЛИНЗОЙ

В.И. Логачев¹, С.Н. Хонина²

¹Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

²Институт систем обработки изображений,
НИЦ «Курчатовский институт»,
(443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 151)
e-mail: walle.log@yandex.ru

В данной работе рассматривается формирование распределенных вдоль оптической оси световых кривых на основе совмещения обобщенных спиральных фазовых пластинок и композиционной линзы. Такая линза рассчитывается сложением комплексных функций пропускания нескольких линз с разными фокусными расстояниями. Предложенный подход позволяет не только фокусировать на заданных от оптического элемента расстояниях определенные распределения световых кривых, но также формировать комбинированные распределения в промежуточных позициях вдоль оптической оси.

Ключевые слова: композиционная линза, фокусное расстояние, обобщенная спиральная фазовая пластинка, отражающий волновой фронт.

Стандартная спиральная фазовая пластинка (СФП) – это оптический элемент с комплексной функцией пропускания $\text{circ}\left(\frac{r}{R}\right)\exp(im\varphi)$, где (r, φ) – полярные координаты, R – радиус элемента, m – топологический заряд (ТЗ). СФП позволяет формировать из падающей плоской волны лазерные пучки со спиральным волновым фронтом.

Нестандартная, или обобщенная СФП (ОСФП) была предложена в 2014 году.

Фазовое распределение описывается степенной зависимостью $2\pi m\left(\frac{\varphi}{2\pi}\right)^n$, где n – произвольное число. При освещении данного элемента в фокальной плоскости формируется кривая в виде одного витка спирали. Ранее для ОСФП уже были решены как прямая [1], так и обратная [2] задачи дифракции.

В данной работе рассматривается фокусировка различных световых кривых, формируемых с помощью ОСФП, на основе совмещения с композиционной линзой. Такая линза рассчитывается сложением комплексных функций пропускания нескольких линз с разными фокусными расстояниями, что позволяет фокусировать распределение в несколько плоскостей вдоль оптической оси [3]. Отметим, что такой подход используется не только для создания многофокусных линз, но также для формирования трехмерных световых распределений и мультиплексирования лазерных пучков.

Предложенное совмещение многофокусной линзы с ОСФП позволяет не только фокусировать на заданных расстояниях от оптического элемента определенные распределения световых кривых, но также формировать комбинированные распределения в промежуточных позициях вдоль оптической оси.

Полученные результаты могут найти применение в оптическом захвате и манипулировании, а также в лазерном структурировании поверхностей светочувствительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khonina, S.N. Properties of vortex light fields generated by generalized spiral phase plates / S.N. Khonina, A.V. Ustinov, V.I. Logachev, and A.P. Porfirev // *Phys. Rev. A* – 2020. – Vol. 101. – P. 043829.
2. Ustinov, A.V. Calculation of the Transmission Function of a Generalized Spiral Phase Plate to Form a Given Curve / A.V. Ustinov, V.I. Logachev, S.N. Khonina // *Optical Memory and Neural Networks*. – 2024. – Vol. 33. – P. 34-42. – DOI: 10.3103/S1060992X24700280.
3. Khonina, S.N. Techniques for encoding composite diffractive optical elements / S.N. Khonina, V.V. Koltzar, V.A. Soifer // *Proceedings of SPIE Int. Soc. Opt. Eng.* – 2003. – Vol. 5036. – P. 493-498. – DOI: 10.1117/12.498521.

FORMATION OF DISTRIBUTED LIGHT CURVES BASED ON THE COMBINATION OF GENERALIZED SPIRAL PHASE PLATES WITH A COMPOSITE LENS

V.I. Logachev¹, S.N. Khonina²

¹*Samara National Research University,*

(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

²*Image Processing Systems Institute, NRC "Kurchatov Institute",*

(443001, Samara, Russia, Molodogvardeyskaya, 151)

e-mail: walle.log@yandex.ru

We consider the formation of distributed light curves based on the combination of generalized spiral phase plates and a composite lens. Such a lens is calculated as a composition of the complex transmission functions of several lenses with different focal lengths. The proposed approach allows us not only to focus specific distributions of light curves at certain distances from the optical element, but also to form combined distributions at intermediate positions along the optical axis.

Keywords: composite lens, focal length, generalized spiral phase plate, deflecting wavefront.

ЛАЗЕРНАЯ АБЛЯЦИИ НАНОМЕТРОВЫХ ПЛЕНОК ЗОЛОТА КАК МЕТОД СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Е.И.Маврешко¹, А.А. Фроня¹, И.Н. Завестовская^{1,2}, М.С. Григорьева¹,
Д.С. Иванов¹, С.Ю. Лукашенко³, А.В. Колобов¹

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

(119991 ГСП-1 г. Россия, Москва, Ленинский проспект, д. 53)

² НИЦ "Курчатовский институт"

(123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д.1)

³ ФГБУН Институт аналитического приборостроения РАН

(198095, а/я 140, Санкт- Петербург, ул. Ивана Черных, 31-33, лит. А)

e-mail: EGOR.MAV@yandex.ru

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования процесса генерации наночастиц методом лазерной абляции тонкого слоя материала при различных режимах воздействия лазерного излучения. Лазерная абляция производилась в жидкой среде. В качестве мишени воздействия использовалась пленка золота толщиной 20 нм, расположенная на предметном стекле.

Ключевые слова: лазерная абляция в жидкости, золото, тонкие пленки, наночастицы.

Золотые наночастицы уже долгое время широко применяются в различных отраслях. Особый интерес представляет применение в биомедицинских технологиях благодаря их уникальным свойствам, таким как инертность, биосовместимость и низкая токсичность [1]. Современные технологии синтеза позволяют получать наночастицы золота размером от 1 до 100 нм различной формы [2]. Однако стоит задача разработки методов и техник синтеза, позволяющих контролируемо формировать наночастицы достаточно малых размеров 1-15 нм, чтобы увеличить долю таких частиц в общем объеме, и уменьшить количество дополнительных процедур и стадий производства. Один из подходов, который разрабатывается в этом направлении это синтез наночастиц из тонких пленок, которые ограничены нанометровыми масштабами по толщине.

В работе синтез наночастиц проводился методом импульсной наносекундной лазерной абляции в жидкости (ИЛАЖ). Параметры лазерного излучения были следующие: длина волны 1064 нм, длительность импульса 20 нс, частота повторения импульсов 100 кГц, размер пятна фокусировки 30 мкм. В качестве мишени использовалась золотая пленка толщиной 20 нм, нанесенная на полированную поверхность предметного стекла. Измерения размеров наночастиц проводились методом динамического рассеяния света.

В экспериментах было опробовано два режима движения лазерного излучения по поверхности тонкой пленки. Первый режим - поточечное воздействие излучения, второй режим - непрерывное движение лазерного излучения по поверхности пленки. Режим проведения абляции в значительной степени влияет на формирование или отсутствие нескольких размерных фракций наночастиц. Режим точечного воздействия обеспечивает бимодальное распределение по размерам и формирование мелкой фракции наночастиц с

размерами до 10 нм. В то время как режим непрерывного движения лазерного излучения приводит к формированию одной фракции частиц с размерами 10-50 нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Correard F, Maximova K, Estève M, Villard C, Roy M, Al-Kattan A, Sentis M, Gingras M, Kabashin A, Braguer D. Gold nanoparticles prepared by laser ablation in aqueous biocompatible solutions: assessment of safety and biological identity for nanomedicine applications. *Int J Nanomedicine*. 2014;9(1):5415-5430
<https://doi.org/10.2147/IJN.S65817>
2. Jiang, Z.; Li, L.; Huang, H.; He, W.; Ming, W. Progress in Laser Ablation and Biological Synthesis Processes: “Top-Down” and “Bottom-Up” Approaches for the Green Synthesis of Au/Ag Nanoparticles. *Int. J. Mol. Sci.* 2022, 23, 14658.
<https://doi.org/10.3390/ijms232314658>

LASER ABLATION OF GOLD NANOMETER FILMS AS A METHOD OF NANOPARTICLE SYNTHESIS FOR BIOMEDICAL APPLICATION

Mavreshko E. I.¹, Fronya A. A.¹, Zavestovskaya I. N.^{1,2}, Grigorieva M. S.¹, D.S. Ivanov¹, S.Y. Lukashenko³, A.V. Kolobov¹

¹ *Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences
(53 Leninsky Prospekt, Moscow, 119991 GSP-1, Russia)*

² *Kurchatov Institute Research Center
(1 Akademika Kurchatov Square, Moscow, 123182)*

³ *Institute of Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences
(198095, a/z 140, Saint Petersburg- St. Petersburg, Ivan Chernykh St., 31-33, lit. A)
e-mail: EGOR.MAV@yandex.ru*

This paper presents the results of an experimental study of nanoparticle generation using laser ablation of a thin layer of material under various laser radiation conditions. Laser ablation was performed in a liquid medium. A 20-nm-thick gold film placed on a glass slide was used as the target.

Key words: laser ablation in liquid, gold, thin films, nanoparticles.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТАРЕНИЯ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ И ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК9

Ю.В. Осинская, С.Г. Магамедова

Самарский национальный исследовательский университет

имени академика С.П. Королева,

(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: oju76@mail.ru

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования влияния постоянного и импульсного магнитных полей на микротвердость и параметры тонкой структуры алюминиевого сплава АК9, подвергнутого искусственному старению. В ходе экспериментов было зафиксировано проявление положительного магнитопластического эффекта, достигающего 25 %, что подтверждает возможность управления механическими свойствами сплавов посредством воздействия магнитным полем.

Ключевые слова: старение, постоянное и импульсное магнитные поля, магнитопластический эффект, алюминиевый сплав.

В работе представлены экспериментальные данные, подтверждающие воздействие постоянного и импульсного магнитных полей на параметры тонкой структуры и физико-механические свойства алюминиевого сплава АК9. Образцы, подвергнутые двухчасовой выдержке при температуре 535 °С и последующей закалке в воде (20 °С), подвергались старению длительностью 4 ч при температурах 140, 175 и 200 °С. В процессе старения на образцы накладывалось постоянное магнитное поле напряженностью 2,5 и 7 кЭ, а также импульсное магнитное поле амплитудой напряженности 2,5 и 7 кЭ и частотой импульсов 2 и 5 Гц.

Твердость образцов определялась методом Бринелля с использованием твердомера Novotest ТС-БРВ (нагрузка 1837,5 Н, индентор – шарик диаметром 2,5 мм, время нагружения 30 с). Микротвердость измерялась методом Виккерса на микротвердомере HAUSER (индентор – алмазная пирамидка, время нагружения 7 с, нагрузка 0,98 Н).

Рентгеновский анализ проводился на дифрактометре ДРОН-2 с использованием CoK_α -излучения. Установка оснащена аппаратно-программным комплексом для управления, регистрации и обработки данных. Параметры съемки: ток анода 20 мА, напряжение на рентгеновской трубке 30 кВ, скорость сканирования 0.2 и 0.4 град/мин, щели 0.5–4–0.5 мм.

Результаты измерений микротвердости алюминиевого сплава АК9, состаренного в магнитном поле, методом Виккерса демонстрируют снижение микротвердости до 25 %, что сопровождается увеличением пластических свойств. Наблюдается положительный магнитопластический эффект [1-2], причиной которого является формирование более однородной и менее дефектной структуры сплава. Увеличение напряженности, частоты и амплитуды магнитного поля усиливает данный эффект.

Результаты измерений твердости алюминиевого сплава АК9 методом Бринелля подтверждают снижение твердости до 22 % и увеличение пластичности. Наблюдается положительный магнитопластический эффект. Установлена высокая корреляция между результатами, полученными методами Виккерса и Бринелля.

Параметры тонкой структуры сплава рассчитывали, используя метод аппроксимации. Этот метод позволяет по изменениям формы дифракционных линий, зная физическое уширение, определить размеры когерентно рассеивающих блоков, величину относительной микродеформации и плотность дислокаций. Обнаружено, что при наложении постоянного и импульсного магнитных полей на старение наблюдается увеличение среднего размера блоков когерентного рассеяния 1,5 раза и уменьшению плотности дислокаций и величины относительной микродеформации в 2 и 1,4 раза, соответственно. Наблюдается корреляция между температурными зависимостями параметров тонкой структуры и микротвёрдости (твердости).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, М.В. Колдаева, Е.А. Петржик, Магнитопластический эффект: основные свойства и физические механизмы. // Кристаллография, 2003, Т. 48, № 5, С. 838-867.
2. Р.Б. Моргунов, Р.А. Валеев, А.А. Скворцов, Д.В. Королев, В.П. Пискорский, Е.И. Куницыны, В.В. Кучеряев, О.В. Коплак, Магнитопластический и магнитомеханический эффекты в алюминиевых сплавах с магнитострикционными микровключениями. // Труды ВИАМ, 2019, № 10 (82), с. 3-13.

THE INFLUENCE OF AGEING TEMPERATURE AND MAGNETIC FIELDS ON THE FORMATION OF STRENGTH PROPERTIES AND FINE STRUCTURE OF ALUMINUM ALLOY AK9

J.V. Osinskaya, S.G. Magamedova

*Samara University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: oju76@mail.ru*

This paper presents the results of an experimental study of the effect of constant and pulsed magnetic fields on the microhardness and fine structure parameters of an aluminum alloy AK9 subjected to artificial aging. During the experiments, a positive magnetoplastic effect was observed, reaching 25%, which confirms the possibility of controlling the mechanical properties of alloys by exposure to a magnetic field.

Keywords: aging, constant and pulsed magnetic fields, magnetoplastic effect, aluminum alloy.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА ПО АНАЛИЗУ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВОЙ СПЕКЛ-ФОТОГРАФИИ

Д.Р. Манучаров, С.С. Лихачев, П.В. Павлов

*Военно-учебный научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
(394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А)
e-mail: dmitrii5751@gmail.com*

Целью работы являлось создание теоретической и экспериментальной базы способа, позволяющего проводить количественную оценку степени биозагрязнения авиационного топлива. Получены соотношения связывающие параметры регистрируемых спекл-фотографий с изменением оптических свойств авиационного топлива, подверженного заражению мицелиальными грибами.

Ключевые слова: спекл-фотография, лазерная диагностика, оперативный анализ, авиационное топливо, микробиологический контроль, биозагрязнение.

Безопасность полетов является абсолютным приоритетом в гражданской и военной авиации. Одной из скрытых, но серьезных угроз является микробиологическое загрязнение авиационного топлива. В процессе жизнедеятельности микроорганизмы образуют биомассу, которая вызывает коррозию металлов, а также засорение топливных фильтров, что может привести к отказу авиационной техники в полете [1].

По причине зарубежного производства современных методов и устройств определения биозагрязнения авиационного топлива возникают проблемы в их использовании на территории Российской Федерации. Поэтому разработка оптических экспресс-методов оценки технического состояния авиационного топлива является актуальной научно-практической задачей.

Одним из перспективных физических методов для решения данной задачи является метод спекл-структур оптического излучения. Возможности которого позволяют исследовать процессы, происходящие во внутриклеточном пространстве [2], оценивать метаболизм живых клеток, зараженных вирусами [3].

С учетом особенностей реализации предложенного способа [4] разработана модель количественного мониторинга микроорганизмов в составе авиационного топлива, основанная на анализе изменения регистрируемых спекл-фотографий с учетом разности оптических путей пар волн спекл-поля, проходящего через контролируруемую пробу.

В результате экспериментального исследования проб авиационного топлива с разной концентрации спор *Normosporis resinae* установлено, что усредненное значение коэффициента корреляции регистрируемых спекл-фотографий от проб с максимальной концентрацией микроорганизмов уменьшается быстрее, что отражено на рисунке 1 (а), а СКО оптической длины пути пар волн σ_u , увеличивается по мере увеличения времени, рисунок 1 (б).

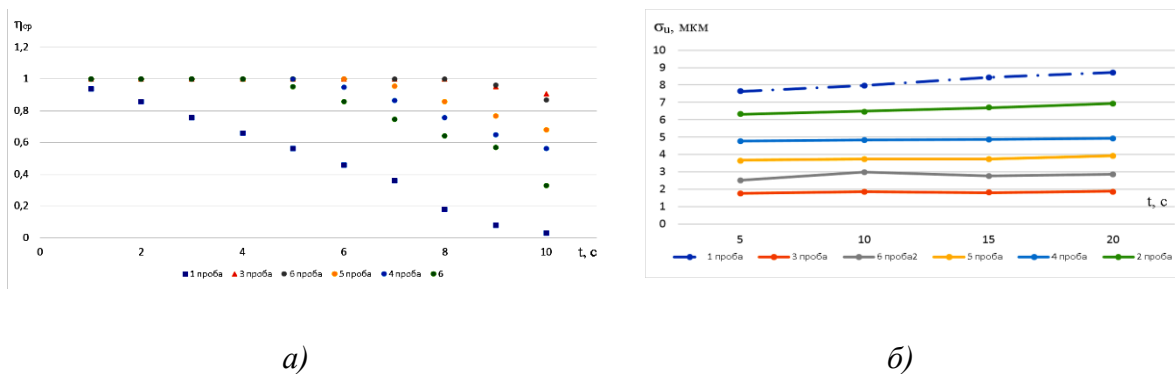


Рис. 1. Графики зависимостей изменения $\eta_{ср}$ и $\sigma_{и}$ от времени t

Таким образом, в ходе проведенных исследований выработаны критерии позволяющие приступить к разработке методике количественного определения биозагрязнения авиационного топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривушина А. А., Бобырева Т. В. И др. // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54, № 2. С. 143-149.
2. Владимиров А.П. К спекл-томографии функций живой клетки. / Известия вузов. Радиофизика. - 2020. Том LXIII, 8. – С. 1 - 14.
3. Малыгин А. С. Сравнение метаболической активности разных клеточных культур по динамике спеклов / А. С. Малыгин, А. П. Владимиров, Ю. А. Михайлова и [др.] // Известия ВУЗов. Радиофизика. – 2014. – Т. 57, № 8–9. – С. 654–659.
4. П.В. Павлов Д.Р. Манучаров, А.П. Владимиров, С.С. Лихачев, Т.М. Хакимов. Способ определения биозагрязнения авиационного топлива. Патент РФ № 2845640, опубл. 25.08.2025. Бюл. № 24.

DETERMINATION OF BIOLOGICAL CONTAMINATION OF AVIATION FUEL BY ANALYZING THE PARAMETERS OF DIGITAL SPECKLE-PHOTOGRAPHY

D.R. Manucharov, S.S. Likhachev, P.V. Pavlov

(Military Training and Research Center of the Air Force "Military Air Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin")
 (394064, Voronezh, Starykh Bolshevikov str., 54A)
 e-mail: dmitrii5751@gmail.com

The aim of the work was to create a theoretical and experimental basis for a method that allows for a quantitative assessment of the degree of biocontamination of aviation fuel. The relationships linking the parameters of the recorded speckle photographs with changes in the optical properties of aviation fuel exposed to contamination by micelial fungi were obtained.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОПУХОЛЕЙ НА МЫШИНЫХ МОДЕЛЯХ

И.В. Маркова^{1,2}, Д.В. Поминова^{1,2}, А.С. Скобельцин^{1,2}, И.Д. Романишкин¹,
А.В. Рябова^{1,2}

¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН
(119991, г. Москва, ул. Вавилова, 38, ГСП-1)

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
(115409, г. Москва, ул. Каширское шоссе, 31)
e-mail: 12.inessa.markova@gmail.com

В работе исследовано изменение оптических характеристик тканей опухоли на мышинных моделях после фотодинамической терапии (ФДТ) с хлорином е6. Спектры диффузно рассеянного света регистрировали при помощи волоконного спектрометра Lesa-01-Biospec (БИОСПЕК, Россия). С помощью время-разрешенной флуоресцентной микроскопии (FLIM) исследованы времена жизни флуоресценции фотосенсибилизатора в опухоли. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации параметров процедуры ФДТ.

Ключевые слова: конкурс-конференция, оптика тканей, лазерная спектроскопия, фотодинамическая терапия.

Одним из перспективных и малоинвазивных методов лечения онкологических заболеваний является. Эффективность ФДТ сильно зависит от глубины проникновения возбуждающего излучения, которая определяется оптическими свойствами опухоли. Кроме того, во время ФДТ может происходить изменение этих свойств за счет разрушения клеток опухоли и опухолевого микроокружения, отека и повреждения внеклеточного матрикса [1]. С одной стороны, эти повреждения являются целью ФДТ, а также в дальнейшем способствуют лучшему проникновению химиопрепаратов или фотосенсибилизатора в опухоль в случае комбинированной или курсовой терапии. Однако, с другой стороны, изменение оптических свойств может оказывать влияние на эффективность сеанса ФДТ [2, 3].

В данной работе исследовано изменение оптических характеристик (коэффициенты рассеяния и поглощения) тканей опухоли на перевиваемых мышинных моделях после ФДТ с хлорином е6 (5 мг/кг). Облучение проводили лазерным источником с длиной волны 660 нм, плотностью мощности 100 мВт/см² и световой дозой 50 Дж/см². Спектры диффузно рассеянного света регистрировали с помощью волоконного спектрометра Lesa-01-Biospec (БИОСПЕК, Россия). Также исследовали времена жизни флуоресценции фотосенсибилизатора в опухоли с помощью время-разрешенной флуоресцентной микроскопии (FLIM).

Проанализировано изменение рассеивающих, поглощающих и флуоресцентных свойств опухоли в течение ФДТ. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации параметров процедуры ФДТ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 25-12-00436).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.J. Sorrin, M.K. Ruhi, N.A. Ferlic, V. Karimnia, W.J. Polacheck, J.P. Celli, H.-C. Huang, I. Rizvi, Photodynamic Therapy and the Biophysics of the Tumor Microenvironment. // Photochem. Photobiol., 2020, v. 96, p. 232-259.
2. S.L. Jacques, How tissue optics affect dosimetry of photodynamic therapy. // J. Biomed. Opt., 2010, v. 15(5), 051608.
3. M. Mousavi, L.T. Moriyama, C. Grecco, M.S. Nogueira, K. Svanberg, C. Kurachi, S. Andersson-Engels, Photodynamic therapy dosimetry using multiexcitation multiemission wavelength: toward real-time prediction of treatment outcome. // J. Biomed. Opt., 2020, v. 25(6), 063812.

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF PHOTODYNAMIC THERAPY ON THE OPTICAL CHARACTERISTICS OF TUMORS IN MOUSE MODELS

I.V. Markova^{1,2}, D.V Pominova^{1,2}, A.S. Skobeltsin^{1,2}, I.D. Romanishkin¹, A.V. Ryabova^{1,2}

¹Prokhorov General Physics Institute

(Vavilova str., 38, Moscow, Russia, 119991)

²National Research Nuclear University MEPhI,

(Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia, 115409)

e-mail: 12.inessa.markova@gmail.com

The study investigates changes in the optical characteristics of tumor tissues in mouse models after photodynamic therapy (PDT) with chlorin e6. Diffusely scattered light spectra were recorded via the Lesa-01-Biospec fiber spectrometer (BIOSPEC, Russia). Using time-resolved fluorescence microscopy (FLIM), the lifetime of photosensitizer fluorescence in a tumor was studied. The results can be used to optimize the parameters of the PDT procedure.

Keywords: conference-contest, tissue optics, laser spectroscopy, photodynamic therapy.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е.О. Митюшкин^{1,2}, А.Н. Солодов¹, Р.М. Гатауллина², А.В. Леонтьев^{1,2},
А.Г. Шмелев^{1,2}, Л.А. Нуртдинова², В.Г. Никифоров^{1,2}, Д.К. Жарков^{1,2}

¹ ФИЦ КазНЦ РАН,

(420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31)

² КФТИ им. Е.К. Завойского - обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ
РАН,

(420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7)

e-mail: m1tyushck1n@yandex.ru

Представлены спектральные конвертеры на основе частиц $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ и $\text{NaGdF}_4:\text{Ce}^{3+}/\text{Eu}^{3+}$ для кремниевых солнечных элементов. Покрытия демонстрируют увеличение квантовой эффективности фотоэлементов на 5-7% в УФ-области за счёт преобразования высокоэнергетических фотонов в видимое излучение без ухудшения характеристик в основном рабочем диапазоне.

Ключевые слова: даун-конверсия, квантовая эффективность, люминофоры, наночастицы $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$, наночастицы $\text{NaGdF}_4:\text{Ce}/\text{Eu}$, спектральные конвертеры, фотовольтаика

Актуальной проблемой современной фотовольтаики остаются значительные потери в УФ-области спектра в кремниевых фотоэлектрических преобразователях, обусловленные фундаментальным несоответствием между спектром падающего излучения и спектральной областью максимальной фоточувствительности кремния. Перспективным направлением минимизации спектральных потерь является применение люминесцентных покрытий, способных к трансформации высокоэнергетических УФ-фотонов в излучение, эффективно поглощаемое активным слоем кремниевых солнечных панелей.

В настоящем исследовании синтезированы и комплексно охарактеризованы наночастицы $\beta\text{-NaGdF}_4:\text{Eu}^{3+}$, $\beta\text{-NaGdF}_4:\text{Ce}^{3+}/\text{Eu}^{3+}$ и микрокристаллический порошок $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что фторидные нанокристаллы размером 15-30 нм, синтезированные термическим разложением прекурсоров в инертной атмосфере, кристаллизуются в гексагональной β -фазе, тогда как оксидный материал, полученный высокотемпературным синтезом в воздушной атмосфере, формирует агрегаты кубической модификации (С-тип, пространственная группа Ia-3). Спектроскопические исследования выявили принципиально различные механизмы сенсibilизации люминесценции ионов Eu^{3+} : в оксидной матрице доминирует возбуждение через полосу переноса заряда $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$, в то время как во фторидной системе наблюдается эффективный каскадный перенос энергии по схеме $\text{Ce}^{3+} \rightarrow \text{Gd}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$.

Экспериментально установлено, что оптимальная концентрация активатора в системе $\beta\text{-NaGdF}_4:\text{Ce}^{3+}(10 \text{ мол. \%})/\text{Eu}^{3+}(x)$ составляет 2 мол.%, что обеспечивает

максимальную интенсивность люминесценции при минимальном концентрационном тушении. Измеренное время жизни возбужденного состояния 5D_0 (Eu^{3+}) для данной композиции составляет 7.33 мс, что свидетельствует о высокой эффективности процессов переноса энергии и низкой вероятности безызлучательной релаксации.

Фотоэлектрические испытания демонстрируют, что нанесение композитных покрытий на основе синтезированных люминофоров в поливинилом спирте на поверхность коммерческих поликристаллических кремниевых элементов приводит к значимому увеличению квантовой эффективности (IPCE) в спектральной области $\lambda < 350$ нм на 5–7% относительно контрольного образца. При этом фотоэлектрические параметры в основной области спектральной чувствительности кремния (350–1100 нм) остаются неизменными, что подтверждает оптическую прозрачность покрытий в данном диапазоне. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения разработанных люминесцентных покрытий в качестве эффективных спектральных конвертеров УФ-излучения для повышения КПД кремниевых солнечных элементов.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Соглашения № 075-15-2024-624 от 12 июля 2024 г.

APPLICATION OF LUMINESCENT NANOPARTICLES FOR SOLAR CELL EFFICIENCY ENHANCEMENT

E.O. Mityushkin^{1,2}, A.N. Solodov¹, R.M. Gataullina², A.V. Leontiev^{1,2}, A.G. Shmelev^{1,2},
L.A. Nurtdinova², V.G. Nikiforov^{1,2}, D.K. Zharkov^{1,2}

¹*Federal Research Center “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”,
(Lobachevsky str., 2/31, Kazan, Russia, 420111)*

²*Zavoisky Physical-Technical Institute, FRC Kazan Scientific Center of RAS,
(Sibirsky trakt, 10/7, Kazan, Russia, 420029)
e-mail: m1tyushck1n@yandex.ru*

We present spectral converters based on $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ and $\text{NaGdF}_4:\text{Ce}^{3+}/\text{Eu}^{3+}$ particles for silicon solar cells. The coatings enhance the quantum efficiency by 5-7% in the UV spectral region through conversion of high-energy photons into visible radiation while maintaining performance in the principal operational wavelength range.

Keywords: down-conversion, $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ nanoparticles, $\text{NaGdF}_4:\text{Ce}/\text{Eu}$ nanoparticles, luminescent materials, photovoltaics, quantum efficiency, spectral converters

СТРУКТУРНОЕ И СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ И ИТТЕРБИЕМ

Д.А. Нестеров, С.А. Нефедов

*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: nesand2606@mail.ru*

Методом микрофотолюминесценции с возбуждением 532 нм исследованы люминесцентные свойства пористого кремния, легированного ионами Er^{3+} и Yb^{3+} . Обнаружена интенсивная полоса излучения Er^{3+} на 1535 нм. Слабая интенсивность линии Yb^{3+} при 976 нм свидетельствует об эффективном резонансном переносе энергии в паре $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Er}^{3+}$. Установлена антикорреляция интенсивностей люминесценции Er^{3+} и кремниевой матрицы.

Ключевые слова: пористый кремний, редкоземельные элементы, эрбий, иттербий, ап-конверсия, фотолюминесценция, солнечная энергетика.

Эффективный перенос энергии между редкоземельными ионами в пористом кремнии представляет значительный интерес для создания ап-конверсионных покрытий солнечных элементов [1]. Ключевым методом исследования механизмов передачи энергии является микрофотолюминесценция ($\mu\text{-PL}$), позволяющая анализировать пространственное распределение и эффективность люминесцентных центров.

Исследования проводились на установке микро-ФЛ с лазерным возбуждением 532 нм (Lasermoule LSR532NL-400). Сигнал детектировался охлаждаемым Ge-детектором в составе Фурье-спектрометра Bruker IFS 125HR. Образцы пористого кремния получали электрохимическим травлением с последующим легированием растворами нитратов Er/Yb и отжигом при 850°C.

В спектрах $\mu\text{-PL}$ всех исследованных образцов наблюдается характерная для ионов Er^{3+} интенсивная полоса излучения в области 1530-1540 нм (рис. 1), соответствующая переходу ${}^4\text{I}_{13/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$. Максимальная интенсивность люминесценции (39.1 отн. ед.) зарегистрирована для образца с оптимальными параметрами пористости.

Примечательной особенностью спектров является крайне низкая интенсивность линии Yb^{3+} при 976 нм (переход ${}^2\text{F}_{5/2} \rightarrow {}^2\text{F}_{7/2}$), не превышающая 0.48 отн. ед. Данный факт свидетельствует о высокоэффективном резонансном переносе энергии от ионов Yb^{3+} к Er^{3+} , что согласуется с механизмом ETU (Energy Transfer Upconversion).

Обнаружена выраженная антикорреляция интенсивностей полос люминесценции Er^{3+} (1535 нм) и кремниевой матрицы (~1150 нм). В образцах с максимальной эрбиевой люминесценцией интенсивность матричной полосы минимальна, что указывает на конкуренцию каналов релаксации возбуждения и доминирование редкоземельных центров в процессах рекомбинации. Вариация интенсивности люминесценции Er^{3+} между образцами (от 5.2 до 39.1 отн. ед.) коррелирует с морфологией пористого слоя и распределением редкоземельных элементов, подтвержденным методами РЭМ и EDX-анализа.

Метод микрофотолюминесценции позволил установить высокую эффективность резонансного переноса энергии в паре $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ в матрице пористого кремния. Обнаруженная антикорреляция интенсивностей люминесценции Er^{3+} и кремниевой матрицы подтверждает доминирующую роль редкоземельных центров в процессах рекомбинации.

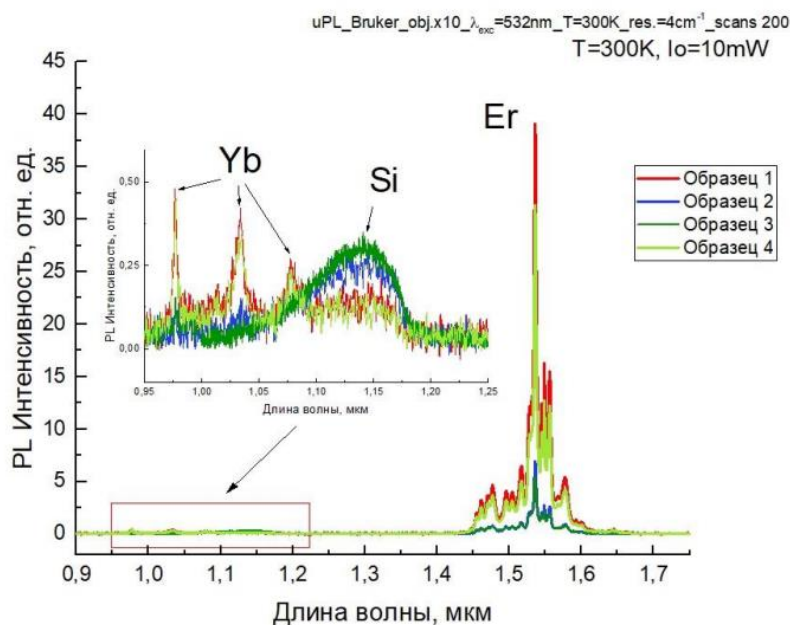


Рис. 1. Спектры микрофотолюминесценции

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Auzel F. Upconversion and Anti-Stokes Processes with f and d Ions in Solids // Chemical Reviews. – 2004. – Vol. 104, №1. – P. 139-174.

STRUCTURAL AND SPECTRAL STUDY OF POROUS SILICON DOPED WITH ERBIUM AND YTTERBIUM

D.A. Nesterov, S.A. Nefedov

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: nesand2606@mail.ru*

The luminescent properties of porous silicon doped with Er^{3+} and Yb^{3+} ions were studied using microphotoluminescence with 532 nm excitation. An intense emission band of Er^{3+} at 1535 nm was detected. The weak intensity of the Yb^{3+} line at 976 nm indicates efficient resonant energy transfer in the $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Er}^{3+}$ pair. An anticorrelation between the luminescence intensities of Er^{3+} and the silicon matrix was established.

Keywords: porous silicon, rare-earth elements, erbium, ytterbium, up-conversion, photoluminescence, solar energy.

ПЕРЕПУТЫВАНИЕ В ДВУХКУБИТНОЙ МОДЕЛИ ТАВИСА-КАММИНГСА ПРИ НАЛИЧИИ ПРЯМОГО ИЗИНГОВСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КУБИТОВ

Али Осман

*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: ali.othman9191@gmail.com*

В работе исследована динамика модели, состоящей из двух идентичных кубитов, нерезонансно взаимодействующих с модой теплового электромагнитного поля идеального резонатора посредством однофотонных переходов, при наличии прямого изинговского взаимодействия кубитов. Вычислена двухкубитная отрицательность в случае когерентного начального состояния кубитов и теплового состояния поля резонатора. Показано, что в случае резонансного взаимодействия кубитов с полем начальная атомная когерентность приводит к значительному увеличению максимальной степени перепутывания. Включение прямого изинговского взаимодействия кубитов может существенно усиливать перепутывание кубитов как в случае когерентных, так и некогерентных начальных состояний кубитов. В случае нерезонансного взаимодействия кубитов и поля резонатора расстройка приводит к ослаблению влияния атомной когерентности на динамику перепутывания кубитов.

Ключевые слова: кубиты, резонатор, тепловое поле, перепутывание, когерентность.

Работа современных устройств квантовой обработки информации основана на использовании перепутанных состояний кубитов. Для управления перепутыванием кубитов используют электромагнитные поля резонаторов. При теоретическом описании кубитов, взаимодействующих с полями резонаторов используют модель Джейнса-Каммингса или ее многокубитное обобщение – модель Тависа-Каммингса [1]. Наличие внешней среды при этом во многих случаях можно смоделировать с помощью наличия теплового поля резонатора. При этом было показано, что взаимодействие кубитов с тепловым шумом резонатора может приводить не к разрушению, а к генерации высокой степени перепутывания кубитов. Связь между атомной когерентностью и перепутыванием в рамках двухкубитной модели типа Тависа-Каммингса была рассмотрена впервые в работе [2]. Авторы показали, что наличие начальной атомной когерентности может привести к значительному усилению перепутывания кубитов при взаимодействии их с тепловым полем резонатора.

В настоящей работе мы исследовали влияние начальной атомной когерентности на динамику перепутывания двух идентичных кубитов, нерезонансно взаимодействующих с одномодовым тепловым полем идеального резонатора, при наличии прямого изинговского взаимодействия кубитов. Мы нашли точное решение для квантового уравнения Лиувилля рассматриваемой модели в представлении “одетых” состояний, то есть собственных состояний исходного гамильтониана модели. Полученное решение позволило нам рассчитать временную зависимость параметра матрицы редуцированной двухкубитной матрицы плотности, а уже с ее помощью найти

временную зависимость критерия перепутывания кубитов – отрицательности для различных параметров модели.

Расчеты показали, что в случае резонансного взаимодействия кубитов и поля наличие начальной когерентности кубитов приводит к существенному возрастанию максимальной степени их перепутывания в ходе дальнейшей эволюции. При этом влияние прямого взаимодействия кубитов на степень их перепутывания имеет важное значение для значений параметра прямого взаимодействия, значительно меньших константа кубит-полевого взаимодействия. В случае нерезонансного взаимодействия кубитов с полем для рассматриваемой модели предсказан обратный эффект. Установлено, что при увеличении расстройки наличие начальной когерентности кубитов приводит к существенному уменьшению максимальной степени их перепутывания в процессе дальнейшей эволюции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B.W. Shore, P.L. Knight, On the Jaynes-Cummings model. // J. Mod. Opt., 1995, v. 40, p. 1195-1238.
2. X.-Y. Wang, S.-D. Du, X.-S. Chen, Coherence-enhanced and -controlled entanglement of two atoms in a single-mode thermal field. // J. Phys. B, 2006, v. 39, p. 357-364.

ENTANGLEMENT IN THE TWO-QUBIT TAVIS-CUMMINGS MODEL IN THE PRESENCE OF DIRECT ISING INTERACTION OF QUBITS

Ali Othman

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: ali.othman9191@gmail.com*

This paper investigates the dynamics of a model consisting of two identical qubits interacting nonresonantly with a mode of the thermal electromagnetic field of an ideal resonator via single-photon transitions in the presence of direct Ising interaction between the qubits. The two-qubit negativity is calculated for a coherent initial state of the qubits and a thermal state of the resonator field. It is shown that in the case of resonant interaction of the qubits with the field, the initial atomic coherence leads to a significant increase in the maximum degree of entanglement. Enabling direct Ising interaction between the qubits can significantly enhance entanglement of the qubits in both coherent and noncoherent initial states. In the case of nonresonant interaction between the qubits and the resonator field, detuning leads to a weakening of the influence of atomic coherence on the dynamics of qubit entanglement.

Keywords: qubits, resonators, thermal field, entanglement, coherence.

МЕТОДЫ АУГМЕНТАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ОПУХОЛЕЙ

А. Оспанов¹, Т.А. Савельева^{1,2}, И.Д. Романишкин²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт» (115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31)

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, (119991 ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38)
e-mail: ospanovanuar99@gmail.com

Комбинация методов оптической спектроскопии (флуоресцентная диагностика, комбинационное рассеяние, диффузное отражение) может повысить эффективность интраоперационной диагностики, однако, для статистической обработки данных в реальном времени требуется применение алгоритмов машинного обучения. Для алгоритмов машинного обучения требуется большая выборка данных, и в случае, если число экспериментальных данных мало, требуется синтезировать искусственные данные.

Ключевые слова: лазерная физика, флуоресценция, комбинационное рассеяние, диффузное отражение, машинное обучение.

Сегодня в нейроонкологии наблюдается рост частоты заболеваний центральной нервной системы. При этом вызывает затруднения задача интраоперационного определения границ опухолей. Возможности использования магнитно-резонансной томографии в операционной ограничены, а ультразвуковое исследование не даёт информации о метаболических параметрах опухоли [1]. Хорошим решением этой проблемы является применение методов оптической спектроскопии. Авторами данной работы предлагается создать систему поддержки принятия решений для интраоперационной диагностики с использованием методов флуоресцентной спектроскопии, диффузного отражения и комбинационного рассеяния, а для обработки и интерпретации сигналов использовать методы машинного обучения.

Авторы рассматривали возможность применения машинного обучения для анализа данных, полученных с помощью вышеназванных методов оптической диагностики. В работе [2] были использованы алгоритмы кластеризации данных для определения типа опухолевой ткани. Методы кластеризации позволили разделить менингеальные и глиальные опухоли с хорошей точностью. В работе [3] же были рассмотрены результаты применения машинного обучения к флуоресценции, упругому и неупругому рассеянию.

Одной из важных проблем машинного обучения является требование к размеру выборки. В нашем случае полученных на биоптатах внутричерепных опухолей экспериментальных данных для эффективной реализации машинных алгоритмов недостаточно. Для решения этой проблемы было предложено синтезировать (аугментировать) искусственные данные на основе реальных, что было реализовано несколькими методами. После синтеза искусственных данных они перемешивались с экспериментальными данными и на них происходило машинное обучение простейшими

машинными алгоритмами. Целью вышеописанной работы является определение оптимального метода аугментации, что является важным шагом для создания интраоперационной системы поддержки принятия решений.

Экспериментальные исследования проводились на базе НМИЦ нейрохирургии им. ак. Бурденко на образцах опухолевых тканей, извлечённых во время операций, непосредственно после удаления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапов А.А., Горяйнов С.А., Лощенов В.Б., и др. Интраоперационная комбинированная спектроскопия (оптическая биопсия) глиом головного мозга. Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко. 2013;77(2):3-10.
2. Ospanov, A.; Romanishkin, I.; Savelieva, T.; Kosyrkova, A.; Shugai, S.; Goryaynov, S.; Pavlova, G.; Pronin, I.; Loschenov, V. Optical Differentiation of Brain Tumors Based on Raman Spectroscopy and Cluster Analysis Methods. *Int. J. Mol. Sci.* 2023, 24, 14432. <https://doi.org/10.3390/ijms241914432>
3. Savelieva, T.; Romanishkin, I.; Ospanov, A.; Goryaynov, S.; Pavlova, G.; Pronin, I.; Loschenov, V. Machine Learning and Artificial Intelligence Systems Based on the Optical Spectral Analysis in Neuro-Oncology. *Photonics* 2025, 12, 37. <https://doi.org/10.3390/photonics12010037>

METHODS OF MEDICAL DATA AUGMENTATION FOR MOLECULAR SPECTROSCOPY OF TUMORS

A. Ospanov¹, T.A. Saveleva^{1,2}, I.D. Romanishkin²

¹*National Research Nuclear University MEPhI “Moscow Engineering Physics Institute”,
(Kashirskoe shosse 31, Moscow, Russia, 115409)*

²*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,
(Vavilov’s street 38, Moscow, Russia, 119991)
e-mail: ospanovanuar99@gmail.com*

A combination of optical spectroscopy methods (fluorescence diagnostics, Raman scattering, diffuse reflectance) can aid in intraoperative diagnostics; however, real-time statistical processing of data requires the use of machine learning algorithms. Machine learning algorithms require a large data sample, and if the experimental dataset is small, synthetic data must be synthesized.

Keywords: laser physics, fluorescence, Raman scattering, diffuse reflectance, machine learning.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО СПЕКТРОФОТОМЕТРА НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ (360–760 НМ)

М.Э. Парфёнов, Д.Н. Артемьев

*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34) e-mail: m.parfyonov@icloud.com*

В работе рассматривается подход к созданию компактного спектрофотометра отражательного типа, использующего светодиоды в качестве источников излучения. Конструкция прибора обеспечивает регистрацию диффузно-отражённого света при минимизации влияния зеркальной составляющей. Оптимизация состава и значений интенсивностей светодиодов позволяет сформировать равномерное спектральное распределение излучения, обеспечивающее стабильные условия измерений в диапазоне 360–760 нм.

Ключевые слова: отражательная спектрофотометрия, светодиоды.

В последние годы растёт интерес к разработке недорогих спектрофотометров для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач в области биологии, химии, сельского хозяйства, медицины и косметологии [1, 2]. Одним из перспективных подходов является использование светодиодов в качестве источников света, поскольку они обладают низким энергопотреблением, компактными размерами и широким диапазоном доступных длин волн. Выбранный диапазон от 360 нм до 760 нм охватывает ультрафиолетовую область и всю видимую часть спектра. В отражательной спектрофотометрии эти длины волн являются критически важными: ультрафиолетовые волны позволяют оценивать химические группы, чувствительные к фотохимическим реакциям, тогда как видимый диапазон даёт информацию о структурных особенностях молекул и степени их поглощения/отражения.

В предполагаемой конструкции спектрофотометра планируется реализовать оптическую схему типа «45/0», при которой светодиодные источники, равномерно размещённые в два кольца вокруг оптической оси, будут направлены под углом 45° к нормали поверхности образца. Такое расположение обеспечит равномерное распределение освещённости и минимизирует вклад зеркально отражённого излучения. После прохождения через матовый диффузор свет сформирует равномерное поле, что снизит влияние направленностей светодиодов. Отражённое излучение планируется регистрировать вдоль нормали (0°) с помощью оптоволоконного ввода, соединённого со спектрометром, что позволит фиксировать преимущественно диффузно-отражённую составляющую и повысит точность спектральных измерений.

Для формирования равномерного спектрального профиля излучения были отобраны доступные светодиоды с характерными пиковыми длинами волн (нм): 365, 385, 430, 480, 535, 568, 600, 635, 680, 700, 740 и 765. Большинство из них выполнено в стандартных формфакторах T-1 и T-1.75 с диаметрами корпусов 3 и 5 мм соответственно, что обеспечивает их компактное размещение и удобство интеграции в составе объединённого источника излучения. Суммарное спектральное распределение (показано на рисунке 1) получено путём суммирования интенсивностей отдельных светодиодов с индивидуальными коэффициентами (0.8, 0.8, 1.0, 0.6, 0.8, 0.75, 0.75, 0.75, 0.65, 0.75, 0.8, 1.0), соответствующими приведённым выше длинам волн. Необходимая балансировка

интенсивностей может быть реализована изменением рабочего тока или широтно-импульсной модуляцией питания светодиодов, что позволит сформировать требуемую форму результирующего спектра и обеспечить его равномерность.

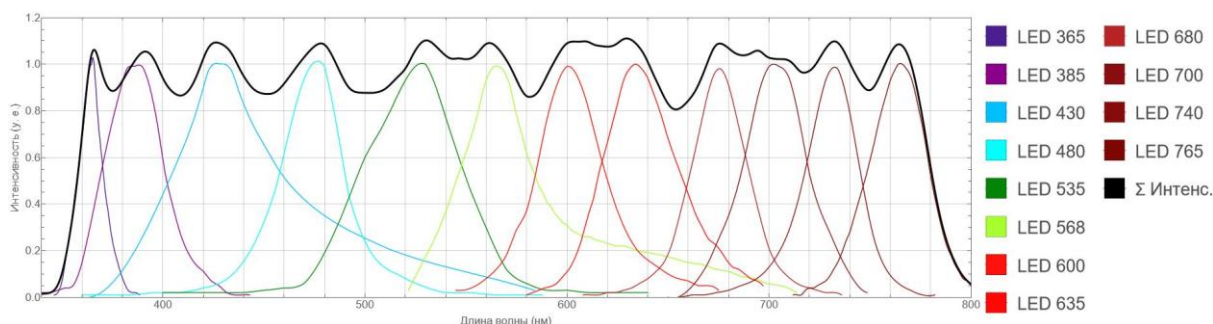


Рис. 1. Относительные спектральные интенсивности светодиодных источников

Предложенная конфигурация светодиодного источника и оптическая схема «45/0» позволяют сформировать равномерное поле освещённости и обеспечить регистрацию диффузно-отражённого излучения с высокой стабильностью. Результаты моделирования подтверждают возможность получения равномерного спектрального распределения в диапазоне 360–760 нм, что делает разработанный подход перспективным для применения в компактных спектрофотометрических системах.

Для регистрации спектрального сигнала предполагается использовать М-образную схему Черни–Тёрнера на ПЗС детекторе, оптимизированную под новый заданный диапазон 360–760 нм, что обеспечит эффективное диспергирование излучения и минимизацию оптических aberrаций, согласно описанию в работе [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.У. Kim, М. Kim, J.H. Kim, LED-based real-time hyperspectral imaging device // J. Med. Imaging, 2025, v. 12, No. 3, p. 035002.
2. Н.Е. Sánchez-Arriaga, D. Tiwari, B. Hutabarat, A. Leyland, A. Tiwari. Spectroscopic reflectance-based low-cost system for thin film thickness measurement // Sensors, 2023, v. 23, No. 11, Art.5326.
3. Артемьев Д.Н., Парфёнов М.Э. Разработка рамановских спектрометров с CCD и фотодиодным детекторами// I Всероссийская научно-техническая конференция по информатике и кибернетике "Volga Cyber Week". — 2025. — С. 51-52

DEVELOPMENT OF A REFLECTIVE SPECTROPHOTOMETER MODEL BASED ON LIGHT-EMITTING DIODE SOURCES (360–760 nm)

М.Е. Parfyonov¹, D.N. Artemyev¹

¹Samara National Research University, (Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: m.parfyonov@icloud.com

This study presents an approach to the development of a compact reflectance-type spectrophotometer employing light-emitting diodes (LEDs) as radiation sources. The instrument design ensures the registration of diffusely reflected light while minimizing the contribution of specular reflection. Optimization of the LED composition and their intensity levels enable the formation of a uniform spectral power distribution, providing stable measurement conditions within the 360–760 nm wavelength range.

Keywords: reflective spectrophotometry, light-emitting diodes.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ MCR-ALS И PCA В СОЧЕТАНИИ СО СТЕКИНГОМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ПО SERS-СПЕКТРАМ СЫВОРОТКИ КРОВИ

И.А. Пименова, И.А. Матвеева

Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: pimenova.312@list.ru

В работе рассматривается применение рамановской спектроскопии в сочетании с методами машинного обучения для диагностики хронической сердечной недостаточности (ХСН) на основе анализа спектральных данных сыворотки крови. Проведено сравнение эффективности методов снижения размерности: метода разрешения многомерных кривых с использованием чередующихся наименьших квадратов (MCR-ALS) и метода главных компонент (PCA).

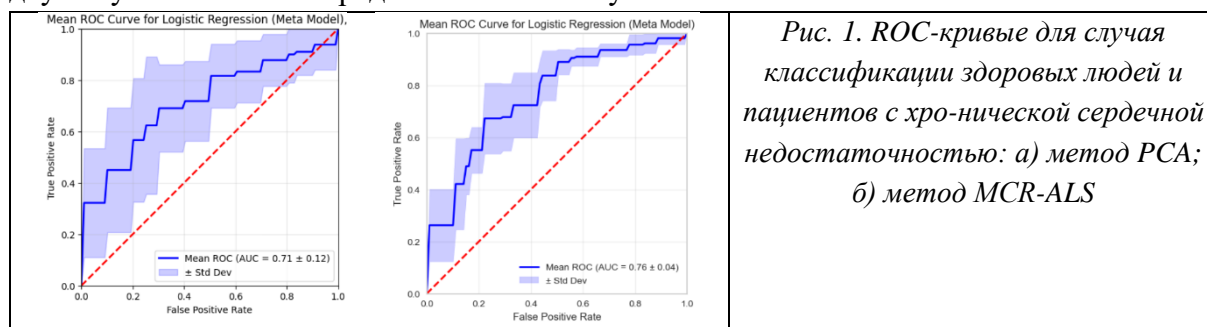
Ключевые слова: метод разрешения многомерных кривых, рамановская спектроскопия, сыворотка крови, хроническая сердечная недостаточность, машинное обучение.

В исследовании использовались *in vitro* спектры сыворотки крови, полученные с применением технологии поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии (SERS), подробно описанной в [1]. Всего проанализировано 229 образцов, из которых 180 принадлежали пациентам с подтверждённой ХСН, а 49 – контрольной группе. В данной работе приводится сравнение двух методов для анализа спектров: MCR-ALS и PCA. Метод разрешения многомерных кривых с использованием метода чередующихся наименьших квадратов (MCR-ALS), уже показал свою эффективность в выделении биохимических компонентов кожи [2]. Основная идея MCR состоит в том, чтобы разложить матрицу рамановских спектров на две матрицы, одна из которых представляет собой профили концентраций для каждого компонента, а вторая – матрицу спектров этих компонентов [3]. Метод главных компонент (PCA) позволяет преобразовать большое количество взаимосвязанных переменных в меньший набор новых переменных — главных компонент, которые являются линейными комбинациями исходных данных. Эти компоненты упорядочены по степени убывания дисперсии, что позволяет сохранить основную информацию о структуре данных, исключив при этом шум и избыточность.

К профилям полученных в результате MCR-ALS концентраций компонентов и к компонентам, полученным в результате PCA были применены следующие алгоритмы машинного обучения: логистическая регрессия, метод опорных векторов (SVM), случайный лес и градиентный бустинг. Для повышения качества итоговых моделей и объединения преимуществ различных методов был применен метод стекинга, при котором базовые модели формировали мета-признаки, которые затем подавались на вход финальной модели — логистической регрессии. Такой подход позволяет учитывать особенности каждого алгоритма, улучшая обобщающую способность классификации. Для проверки стабильности моделей классификации была проведена 5-фолдовая кросс-валидация.

В ходе анализа с помощью методов MCR-ALS и PCA было выделено по 8 компонент для классификации. После сокращения признаков методом MCR-ALS модели показали AUC 0.65 ± 0.07 (логистическая регрессия), 0.64 ± 0.13 (SVM), 0.70 ± 0.13 (случайный лес) и 0.64 ± 0.19 (градиентный бустинг) при accuracy 0.79-0.83. При использовании PCA получены схожие результаты: AUC 0.66 ± 0.09 (логистическая регрессия), 0.58 ± 0.14 (SVM), 0.71 ± 0.06 (случайный лес) и 0.67 ± 0.12 (градиентный бустинг) при accuracy 0.79-0.83. Построенные ROC-кривые для

двух случаев стекинга представлены на Рисунке 1.



При использовании стекинга оба метода продемонстрировали сопоставимые результаты: AUC составила 0.76 ± 0.04 (validation accuracy $83.41\% \pm 2.58\%$) для MCR-ALS и 0.71 ± 0.12 (validation accuracy $82.55\% \pm 5.45\%$) для PCA.

Ключевое отличие методов - в интерпретируемости результатов. MCR-ALS предоставляет биологически значимые концентрационные профили, тогда как PCA дает абстрактные компоненты. При сопоставимой эффективности классификации MCR-ALS обеспечивает лучшую интерпретируемость, а PCA - более простую реализацию. Таким образом, MCR-ALS и PCA решают схожую задачу снижения размерности, но обладают различной прикладной ценностью. Если основная цель исследования — максимально эффективная классификация и построение прогностических моделей, то PCA может быть предпочтительным за счет простоты, скорости и стабильности. Если же требуется обеспечить интерпретируемость результатов с точки зрения биохимии и патофизиологии, то метод MCR-ALS является более обоснованным выбором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y.A. Khristoforova, L.A. Bratchenko, M.A. Skuratova, E.A. Lebedeva, P.A. Lebedev, I.A. Bratchenko, Raman spectroscopy in chronic heart failure diagnosis based on human skin analysis. // Journal of Biophotonics, 2023, p. e202300016.
2. I. Matveeva, I. Bratchenko, Y. Khristoforova, L. Bratchenko, A. Moryatov, S. Kozlov, O. Kaganov, V. Zakharov, Multivariate curve resolution alternating least squares analysis of in vivo skin Raman spectra. // Sensors, 2022, v. 22, № 24, p. 9588.
3. J. Jaumot, A. de Juan, R. Tauler, MCR-ALS GUI 2.0: New features and applications. // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2015, v. 140, p. 1-12.

APPLICATION OF MCR-ALS AND PCA METHODS IN COMBINATION WITH STACKING FOR THE DIAGNOSIS OF CHRONIC HEART FAILURE BY SERS SPECTRA OF BLOOD SERUM

I.A. Pimenova, I.A. Matveeva

Samara National Research University, (Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: pimenova.312@list.ru

This paper examines the use of Raman spectroscopy in combination with machine learning methods for the diagnosis of chronic heart failure (CHF) based on the analysis of serum spectral data. The effectiveness of two dimensionality reduction methods is compared: multivariate curve resolution using alternating least squares (MCR-ALS) and principal component analysis (PCA).

Keywords: multivariate curve resolution, Raman spectroscopy, blood serum, chronic heart failure, machine learning.

ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ N3-ЦЕНТРОВ В АЛМАЗЕ

Д.А. Помазкин¹, П.А. Данилов¹, В.Г. Винс¹, М.Л. Скориков¹, С.В. Вяткин²,
Ф.В. Дуонг³, Ф.Х. Мин³, С.И. Кудряшов¹

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
(119991, г. Москва, Ленинский проспект, 53)

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
(119991, г. Москва, Ленинские горы, 1)

³Institute of Physics, Vietnamese Academy of Science and Technology
(18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Ha Noi)
e-mail: dpomazkin@lebedev.ru

N3 (N3V) центры алмаза представляют широкий интерес в качестве активной среды лазерной генерации, однако прямое измерение сечения поглощения этих центров ранее не проводилось. Нами было проведено прямое измерение сечений поглощения N3-центров в алмазе методом насыщения поглощения. Полученное значение $7.3 \times 10^{-17} \text{ см}^2$ согласуется с известными литературными значениями $2.0 \times 10^{-16} \text{ см}^2$.

Ключевые слова: алмаз, оптика, сечение поглощения, N3-центры

Центры окраски алмаза высоко востребованы в технологиях квантовых вычислений, перспективны в качестве источников одиночных фотонов, сенсоров магнитного поля и активных сред для лазерной генерации [1,2]. Проектирование и реализация подобных систем невозможна без точных измерений основных фотофизических параметров примесных центров. На данный момент подробно изучены свойства NV-центров [3], в то время как другим, в частности N₃V (N3), уделяется незаслуженно меньшее внимание.

В данной работе мы представляем результаты прямых измерений сечения поглощения в образцах с преимущественным содержанием N3-центров методом насыщения поглощения. Полученное значение $7.3 \times 10^{-17} \text{ см}^2$ согласуется с ранее оцененными из измерений кинетики затухания фотолюминесценции значениями $2.0 \times 10^{-16} \text{ см}^2$ [4]. Результат позволяет оценивать концентрации N3-центров в образцах с различным содержанием примесей, и создает теоретическую основу для развития экспериментальных исследований лазерной генерации на N3-центрах.

Исследование выполнено при поддержке Российского Научного Фонда (Грант № 25-42-02002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Aharonovich I., Neu E. Diamond nanophotonics //Advanced Optical Materials. – 2014. – Т. 2. – №. 10. – С. 911-928.
- [2] Mironov V. P. et al. Generation of laser radiation by color centers in diamond crystals //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2021. – Т. 2392. – №. 1.

- [3] Subedi S. D. et al. Laser spectroscopic characterization of negatively charged nitrogen-vacancy (NV⁻) centers in diamond //Optical Materials Express. – 2019. – T. 9. – №. 5. – C. 2076-2087
- [4] Rand S. Synthetic diamond for color center lasers //Advanced Solid State Lasers. – Optica Publishing Group, 1986. – C. FA9.

DIRECT ABSORPTION CROSS SECTION MEASUREMENT OF N3 CENTERS IN DIAMOND

D.A. Pomazkin¹, P.A. Danilov¹, V.G. Vins¹, M.L. Skorikov¹, S.V. Vyatkin², P.V. Duong³, P.H. Minh³

¹*Lebedev Physical Institute*

(Leninsky Prospect, 53, Moscow, Russia, 119991)

²*Moscow State University*

(Moscow, Leninskie Gory, 1, Moscow, Russia, 119991)

³*Institute of Physics, Vietnamese Academy of Science and Technology*

(18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Ha Noi. Vietnam)

N3 (N3V) centers in diamond are highly perspective as a laser generating medium. However direct measurement of N3 absorption cross section has not been carried yet. In this work we present our N3 cross section measurement with absorption saturation method. Obtained value of $7.3 \times 10^{-17} \text{ cm}^2$ is in good agreement with literature reference $2.0 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$.

Keywords: diamond, optics, cross section, N3-centers

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА НА ФОРМИРУЕМЫЕ УДАРНОВОЛНОВЫЕ СТРУКТУРЫ

И.А. Помельников^{1,2}, Д.С. Рящиков^{1,2}, Д.И. Завершинский^{1,2}, Н.Е. Молевич^{1,2}

¹Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

²Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: pomelnikovia@smr.lebedev.ru

В работе исследуется влияние различных источников нагрева (космические лучи и фотоионизация С) на формируемые ударноволновые структуры. Показано, что учёт дополнительного нагрева за счёт космических лучей и фотоионизации выражается в изменении параметров стационарного состояния и повышении амплитуды формируемых ударноволновых импульсов.

Ключевые слова: изэнтропическая неустойчивость, тепловыделяющие среды, космические туманности.

Фотодиссоциативные области (ФДО) – это участки межзвёздной среды, которые формируются под влиянием дальнего ультрафиолетового излучения на поверхностях космических туманностей. В работе [1] развитие ударноволновых структур в ФДО исследовалось с использованием функции теплотерь предложенной в [2], учитывающей нагрев и охлаждение за счёт фотоэлектронного эффекта, и охлаждение за счёт излучения линий [СII] 158, [OI] 63 и [OI] 146 мкм.

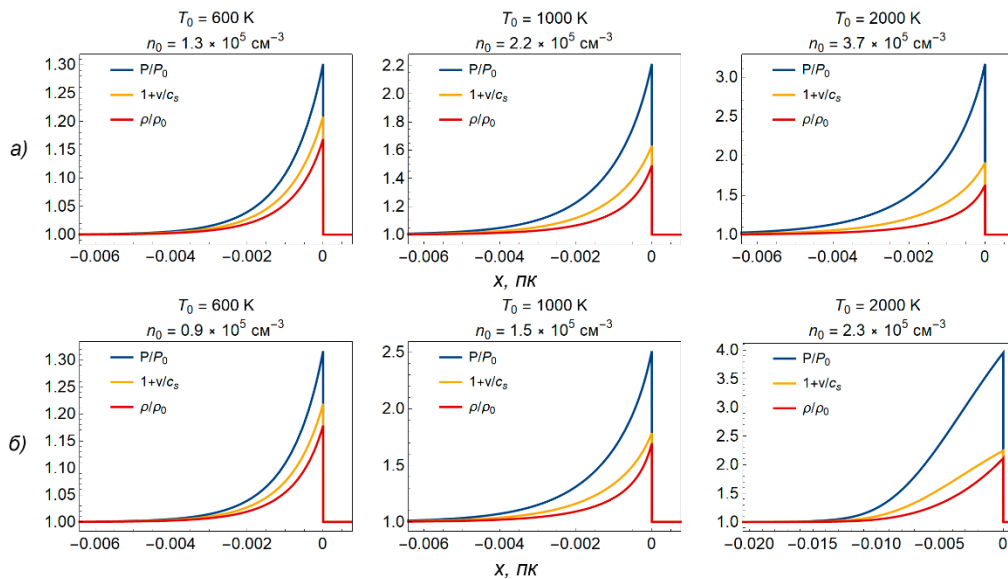


Рис. 1. Профили ударноволновых импульсов при разных стационарных состояниях: а) для функции теплотерь из [2], б) для той же функции с дополнительным учётом нагрева космическими лучами и за счёт фотоионизации С [3]

В работе было предложено, что для теплового баланса в условиях Orion Bar, критично учитывать нагрев за счет космический лучей. Исследовано, как учет дополнительного источника влияет на стационарные значения температуры T_0 и плотности n_0 среды в условиях теплового равновесия и оценены амплитуды мелкомасштабных ударных волн, которые могут развиваться в данной среде благодаря тепловой неустойчивости.

На Рис.1 отображены профили формируемых ударноволновых структур при разных значениях n_0 и T_0 , значения приведены в подписях над графиками. Видно, что по сравнению со значениями стационарного состояния для функции из [1] (Рис. 1а) функция с учётом дополнительных процессов нагрева (Рис. 1б) даёт более низкие значения n_0 при тех же значениях T_0 . Помимо этого, дополненная функция даёт более высокие значения амплитуд и характерных размеров ударноволновых импульсов в области высоких температур.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания образовательным и научным учреждениям по проектам № FSSS-2023-0009 и № FFMR-2024-0017.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I.A. Pomelnikov, D.S. Riashchikov, D.I. Zavershinskii, N.E. Molevich. Isentropic instability and dynamic substructures in the Orion Bar photodissociation region: Analytical and numerical insights // *Astronomy and Astrophysics.*, 2025, v. 701, p. A59.
2. K.V. Krasnobaev, R.R. Tagirova. Isentropic thermal instability in atomic surface layers of photodissociation regions // *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society.*, 2017, v. 469, no. 2. p. 1403 – 1413.
3. M.S. Kirsanova., D.S. Wiebe. Merged H/H2 and C+/C/CO transitions in the Orion Bar // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2019., v. 486., no. 2., p. 2525 – 2534.

INVESTIGATION OF HEATING PROCESSES IMPACT ON SHOCKWAVE STRUCTURES FORMATION

I.A. Pomelnikov^{1,2}, D.S. Ryashchikov^{1,2}, D.I. Zavershinskii^{1,2}, N.E. Molevich^{1,2}

¹*Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

²*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: pomelnikovia@smr.lebedev.ru*

This study investigates the influence of various heating sources (cosmic rays and carbon photoionization) on the formation of shock-wave structures. It is shown that accounting for additional heating from cosmic rays and photoionization results in changes to the steady-state parameters and an increase in the amplitude of the generated shock-wave impulses.

Keywords: isentropic instability, heat-release medium, space clouds.

УДК 539.184.26

МАЛОЧАСТИЧНЫЕ СВЯЗАННЫЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕПТОНОВ В КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

Д.К. Пометко, А.П. Мартыненко

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королева (443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: pometko-darja@yandex.ru*

Вычислены уровни энергии основных состояний трехчастичных и четырехчастичных связанных состояний лептонов в квантовой электродинамике. Использован вариационный метод с гауссовскими функциями.

Ключевые слова: позитроний, мюоний, ион позитрония, молекула мюония.

Малолептонные системы (позитроний, ион позитрония, молекула позитрония) состоят из заряженных лептонов, которые в основном взаимодействуют посредством электромагнитных сил, а их фундаментальной теорией является квантовая электродинамика (КЭД) [1-3]. Благодаря отсутствию такой структуры, как, например, у протона, лептонные системы заняли важное место в физике элементарных частиц. Изучение их уровней энергии и ширин распада позволило осуществлять проверку калибровочной теории взаимодействия частиц с высокой точностью, определять значения фундаментальных физических констант. В течение многих десятилетий исследовались в основном двухчастичные лептонные состояния (позитроний и мюоний), но позднее стали изучаться трехчастичные (ион позитрония) [4] и четырехчастичные (молекула позитрония, молекула мюония) системы [5]. Эти экзотические системы представляют интерес не только для физиков-теоретиков, но и для исследователей в области атомной и молекулярной физики.

Исследования систем с малым количеством лептонов в основном были сосредоточены на связанных состояниях, исследование резонансных состояний проводилось в значительно меньшей степени. До сих пор не исследовались резонансные состояния тетралептона с участием мюонов. Это отчасти связано со значительно возросшей сложностью систем из четырех тел по сравнению с системами из трех тел. Фактически, расчет резонансных состояний требует гораздо больше вычислительных ресурсов, чем расчет связанных состояний. С развитием экспериментальных установок может стать возможным создание состояний тетралептона, содержащих мюоны. Например, Супер Тау-Чарм фабрики могут стать потенциальной платформой для создания и изучения этих состояний тетралептона. Кроме того, с усовершенствованием пучков мюонов такие состояния могут быть потенциально созданы путем введения пучка мюонов в электронный газ.

В дополнение к внутренней ценности исследования самих состояний тетралептона, еще одна причина, по которой система тетралептона особенно значима, заключается в том, что она имеет много общего с недавно открытыми состояниями тетракварка, которые интенсивно изучались в течение последних двух десятилетий с момента открытия состояния $X(3872)$ в 2003 году. Для тяжелых тетракварков малая кинетическая энергия кварка приводит к более короткому расстоянию между кварками, тем самым делает доминирующим цветоэлектрическое кулоновское взаимодействие, как и в системе тетралептона. Поэтому систему тетралептона можно рассматривать как КЭД-аналог состояния тетракварка. Изучение таких связанных состояний тетралептона может

дать более глубокое понимание природы состояний тетракварка. Система тяжелых кварков, в которой доминируют кулоновские взаимодействия должна проявлять свойства, аналогичные свойствам системы тетралептона.

Для расчета энергий связи частиц используется вариационный метод с гауссовским базисом, который хорошо зарекомендовал себя при работе с многочастичными системами, позволяет с высокой точностью проводить расчеты уровней энергии [6-8]. Знание точных энергий связи малозарядных систем чрезвычайно полезно для сравнения эффективности и точности различных квантово-механических методов. Оно также помогает разработке новых методов и улучшению уже существующих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Eides, Hyperfine splitting in muonium: Accuracy of the theoretical prediction, Phys. Lett. B **795**, 113 (2019).
2. G. S. Adkins, D. B. Cassidy, J. Perez-Rioz. Precision spectroscopy of positronium: Testing bound-state QED theory and the search for physics beyond the Standard Model, Phys. Rep. **975**, 1 (2022).
3. S.G. Karshenboim, Precision study of positronium: Testing bound state QED theory, Int.J Mod. Phys. A **19**, 3879 (2004).
4. M. Puchalski, A. Czarnecki, S. G. Karshenboim, Positronium-ion decay, Phys. Rev. Lett. **99**, 203401 (2007).
5. S. Bubin and L. Adamowicz. Nonrelativistic variational calculations of the positronium molecule and the positronium hydride, Phys. Rev. A **74**, 052502 (2012).
6. В. И. Коробов. Вариационные методы в квантовой задаче трёх тел с кулоновским взаимодействием, ФЭЧАЯ **53**, 5 (2022).
7. V. I. Korobov, A. V. Eskin, A. P. Martynenko, and F. A. Martynenko, Energy levels of mesonic helium in quantum electrodynamics, Phys. Rev. A **109**, 032802 (2024).
8. V. I. Korobov, A. P. Martynenko, F. A. Martynenko, and A. V. Eskin, Muon Lamb shift in three-particle muon electron systems in quantum electrodynamics, Bull. Lebedev Phys. Inst. **50**, 229 (2023).

FEW-PARTICLE BOUND STATES OF LEPTONS IN QUANTUM ELECTRODYNAMICS

D.K. Pometko¹, A.P. Martynenko¹

¹*Samara National Research University named after S.P. Korolev*

(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: pometko-darja@yandex.ru

The energy levels of the ground states of three-particle and four-particle bound states of leptons in quantum electrodynamics are calculated. A variational method with Gaussian functions is used.

Keywords: positronium, muonium, positronium ion, muonium molecule.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЯМОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКИ В ТВЕРДОТЕЛЬНОМ ТИТАН – САПФИРОВОМ ЛАЗЕРЕ

К.Е. Резников^{1,2}, А. О. Маврицкий¹, М. Н. Есаулков¹, А. В. Наумов²,
А. В. Конященко¹

¹ООО «Авеста» (108840, г. Москва, ул. Физическая, 11)

²Троицкое обособленное подразделение физического института академии наук имени
П. Н. Лебедева, (119991, г. Москва, ул. Физическая, 11)

e-mail: k.reznikov@avesta.ru

Представлено теоретическое и экспериментальное исследование титан-сапфирового лазера с прямой диодной накачкой, основанной на спектральном и пространственном сведении излучений синих и зелёных лазерных диодов. Достигнута выходная мощность 2,5 Вт в непрерывном и 1,84 Вт в фемтосекундном режиме при 15 и 14,5 Вт накачки соответственно. Теоретически рассмотрено влияние геометрии пучков на эффективность преобразования и условия возникновения модуляционной неустойчивости.

Ключевые слова: конкурс-конференция, оптика, лазерная физика

Ti:Sa лазеры с прямой диодной накачкой набирают популярность по ряду причин: широкая полоса (~ 350 нм) перестройки длины волны излучения, дешевизна, эргономичность и компактность. Несмотря на недавние достижения в этой области, эффективность преобразования оптической накачки в сигнальное излучение как в непрерывных (10-15%), так и в импульсных (фемтосекундных и пикосекундных) лазерах остаётся небольшой. Основные причины делятся на две группы проблем: во-первых, сложность в достижении максимального перекрытия диодной накачки и лазерной моды; во-вторых, существует ограничение в импульсных лазерах, связанное с явлением модуляционной неустойчивости.

В рамках работы для решения первой группы проблем представлено теоретическое и экспериментальное исследование техники лазерной накачки Ti:Sa лазера (рис. 1(а, б)), которая включает спектральное и пространственное сведение излучений от синих и зеленых лазерных диодов. При максимальной мощности накачки 15 Вт генерируемая выходная мощность на 770 нм достигает 2,5 Вт в непрерывном режиме. При накачке 14,5 Вт реализуется выходная мощность 1,84 Вт в фемтосекундном режиме (100 фс). Теоретически показано как расположение пучков накачки зеленых лазерных диодов относительно синих влияет на коэффициент эффективности преобразования. Результаты численного эксперимента соответствуют эксперименту [1].

Для решения второй группы проблем теоретически рассмотрено явление модуляционной неустойчивости на основе кубического уравнения Гинзбурга – Ландау, теоретически исследованы механизмы (повышение согласования оптических мод накачки и лазера, увеличение коэффициента пропускания выходного зеркала лазера) повышения порога появления модуляционной неустойчивости в Ti:Sa лазере.

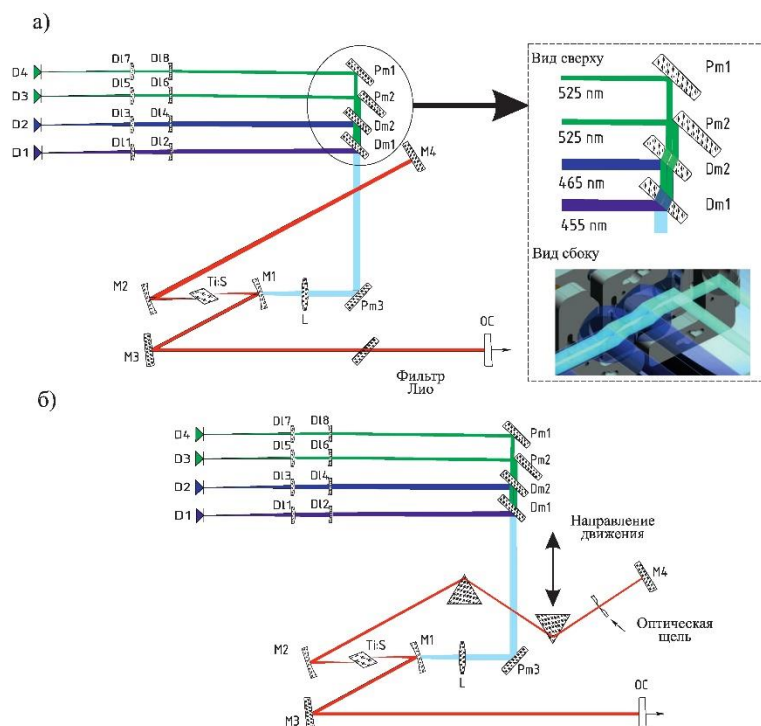


Рис. 1. а) Оптическая схема непрерывного лазера. Блок накачки состоит из четырёх лазерных диодов $D1 — D4$, цилиндрических линз $Dl1 — Dl8$ зеркал накачки $Pm1 — Pm3$, дихроичных зеркал $Dm1 — Dm2$ и сферической линзы. Резонатор лазера включает в себя высоко-отражающие зеркала $M\#$, фильтр Лию и выходное зеркало OC . (б) Оптическая схема фемтосекундного лазера

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reznikov K.E., et al. Fundamentals of direct multi-wavelength diode pumping of Ti: Sapphire lasers for enhanced optical-to-optical conversion efficiency across a broad spectral range. // J. JETP Letters, 2025, v. 121, p. 834-845.

FEATURES OF USING DIRECT DIODE PUMPING IN A SOLID-STATE TI: SAPPHIRE LASER

K.E. Reznikov^{1,2}, A. O. Mavritsky¹, M.N. Esaukov¹, A.V. Naumov²,
A.V. Konyashchenko¹

¹Avesta Ltd. (Fizicheskaya St., 11, Moscow, 108840)

²P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Troitsk Branch
(Fizicheskaya St., 11, Moscow, 119991)

e-mail: k.reznikov@avesta.ru

A theoretical and experimental study of a directly diode-pumped Ti:Sapphire laser based on spectral and spatial combining of blue and green diode emissions is presented. An output power of 2.5 W in continuous-wave mode and 1.84 W in femtosecond mode was achieved at pump powers of 15 W and 14.5 W, respectively. Theoretical analysis explores the influence of pump beam geometry on conversion efficiency and the conditions for modulation instability onset.

Keywords: conference-contest, optics, laser physics.

СИНТЕЗ И ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ТРИСУЛЬФИДА ТИТАНА ДЛЯ ФОТОДЕТЕКТОРОВ ИК-ДИАПАЗОНА

А. Р. Рымжина^{1,2}, А.М.К.Ф.А. Ибрахим², П. Шарма^{1,3}, В.С. Павельев¹,
И.Н. Козлова¹, Н. Трипати^{1,*}

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева,

(443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

² Самарский государственный медицинский университет Минздрава России,
(443099, Россия, г. Самара, ул. Чапаевская, 89)

³ Школа электронной инженерии (SENSE), Технологический институт Веллора (VIT),
(632014, Индия, г. Веллор, штат Тамилнад)

*e-mail автора для корреспонденции: nishant.tripathi.11@gmail.com

Проведен анализ фотодетекторов на основе чистых и функционализированных частицами золота (Au) нанолент трисульфида титана (TiS₃). Характеристики фотодетекторов определены при их облучении 1064 нм лазером с перестраиваемой мощностью. Продемонстрировано превосходство TiS₃/Au фотодетектора перед фотодетектором на основе TiS₃.

Ключевые слова: халькогениды переходных металлов, TiS₃, Au, функционализация.

Обнаружение электромагнитного излучения имеет большое практическое значение для медицины, безопасности и промышленности [1]. Большинство известных чувствительных материалов для фотодетектирования обладают ограниченными спектральными диапазонами чувствительности, низким откликом и малой скоростью отклика [2], что препятствует их практическому применению. Халькогениды переходных металлов (ХПМ) являются возможными кандидатами для решения указанных проблем. Атомарная толщина ХПМ отвечает за эффекты размерного квантования и вызывает сильно связанные экситоны, приводящие к увеличению эффективности поглощения излучения, а край оптического поглощения ХПМ можно регулировать путём изменения количества слоев [1]. Функционализация ХПМ приводит к получению более высоких параметров фотодетектирования [1, 2].

В данной работе рассмотрено два фотодетектора: на основе нанолент TiS₃ и на основе функционализированных частицами золота нанолент TiS₃ (ф-фотодетектор). Наноленты TiS₃ были синтезированы методом химического транспорта, отшелушены и осаждены на поверхности гибкой подложки из полиэтилентерефталата (ПЭТ). Функционализация золотом была осуществлена путём вакуумного напыления. Характеристики изготовленных устройств определялись под воздействием лазерного излучения с длиной волны 1064 нм и перестраиваемой мощностью. Фототок регистрировался в повторяющихся циклах детектирования и демонстрировал повторяемость отклика фотодетекторов. Ф-фотодетектор демонстрирует более высокий фототок (≈ 86 мкА) по сравнению с фотодетектором на основе чистого TiS₃ (≈ 55 мкА). Это связано с подавлением рекомбинации носителей заряда и их более эффективным

разделением за счет функционализации. Время отклика и восстановления ф-фотодетектора составило соответственно 0,23 с и 0,12 с, а чистого фотодетектора – 0,3 с и 0,22 с. Фоточувствительность ф-фотодетектора оказалась равной $8,6 \cdot 10^7$ А/Вт, что значительно выше, чем у фотодетектора на основе чистого TiS_3 ($5,5 \cdot 10^5$ А/Вт). Квантовая эффективность ф-фотодетектора также выше и составила 860 А/Вт·нм, тогда как чистого – 0.64 А/Вт·нм. Добавление частиц золота на поверхность TiS_3 привело и к увеличению обнаружительной способности от $4,20 \cdot 10^{11}$ Джонс до $5,28 \cdot 10^{11}$ Джонс. Золото обладает уникальными оптическими свойствами, связанными с плазмонными резонансами на поверхности частиц. Эти резонансы могут усиливать поглощение света в определенных диапазонах длин волн. Таким образом, фотодетектор на основе функционализированных золотыми частицами нанолент TiS_3 способен более эффективно детектировать излучение ближнего инфракрасного диапазона по сравнению с фотодетектором на основе нефункционализированных нанолент TiS_3 .

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-00494, <https://rscf.ru/project/25-23-00494/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. Tripathi, V. Pavelyev, P. Sharma, S. Kumar, A. Rymzhina, P. Mishra, Review of titanium trisulfide (TiS_3): A novel material for next generation electronic and optical devices. // *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2021, v. 127, p. 105699.
2. Rymzhina, P. Sharma, V. Pavelyev, P. Mishra, N. Tripathi, Recent trends in the fabrication of photodetectors: A detailed analysis on the photodetection properties of new 2D-TMCs. // *Materials Today Communications*, 2023, v. 35, 106247.

SYNTHESIS AND FUNCTIONALIZATION OF TITANIUM TRISULPHIDE FOR IR PHOTODETECTORS

A. R. Rymzhina^{1,2}, A.M.K.F.A. Ibrahim², P. Sharma^{1,3}, V.S. Pavelev¹, I.N. Kozlova¹, N. Tripathi^{1,*}

¹ Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

² Samara State Medical University,
(Chapaevskaya St., 89, Samara, Russia, 443099),

³ School of Electronics Engineering (SENSE), Vellore Institute of Technology (VIT),
(Tamil Nadu, Vellore, India, 632014)

* Corresponding author e-mail: nishant.tripathi.11@gmail.com

Photodetectors based on pure and gold-functionalized titanium trisulfide (TiS_3) nanoribbons were analyzed. The main characteristics of the photodetectors were determined by irradiation with a 1064 nm laser with tunable light power. The superiority of a TiS_3 -based photodetector functionalized with gold particles compared to a photodetector based on pure TiS_3 was demonstrated.

Keywords: transition metal chalcogenides, TiS_3 , Au, functionalization.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ БИОПСИИ КОЖИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

К.Е. Томникова

*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: ksetomnikova@yandex.ru*

В работе рассматривается задача идентификации почечной недостаточности по данным рамановского рассеяния кожи. Для построения моделей классификации используются следующие методы искусственного интеллекта: случайный лес, градиентный бустинг и многослойный перцептрон. Проведена предобработка спектральных данных. В качестве признаков классификации использовались признаки, выделенные с помощью анализа методом разрешения многомерных кривых. Эффективность классификации оценивается по площади под ROC-кривой (ROC AUC) и варьируется от 0,81 до 0,98

Ключевые слова: рамановская спектроскопия, почечная недостаточность, искусственный интеллект

Оптическая биопсия кожи представляет собой неинвазивный и высокоточный метод диагностики, способный выявлять изменения в биохимическом составе кожи, отражающие метаболические нарушения, связанные с состоянием почек [1]. Поэтому разработка метода классификации почечной недостаточности посредством оптической биопсии кожи с применением искусственного интеллекта является актуальной задачей современной медицины.

Было зарегистрировано 86 рамановских спектров кожи пациентов с терминальной стадией хронической болезни почек (ХБП) и 79 спектров здоровых людей. Спектры были подвергнуты предварительной обработке, включающей обрезку в диапазоне от 392 до 1902 нм, удаление базовой линии и сглаживание методом Савицкого-Голея.

Далее спектры были разделены на 30 компонент с помощью метода MCR-ALS для сокращения размерности данных [2]. Далее полученные относительные концентрации полученных компонент использовались в качестве признаков классификации.

Для идентификации почечной недостаточности применялись методы искусственного интеллекта, включая случайный лес, градиентный бустинг и многослойный перцептрон. Все модели реализованы на языке программирования Python. Данные были разделены на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80 на 20.

Для проверки стабильности моделей была применена 10 фолдовая кросс-валидация. Эффективность моделей определялась по площади под ROC-кривой (ROC AUC).

Результаты классификации представлены на рисунке 1.

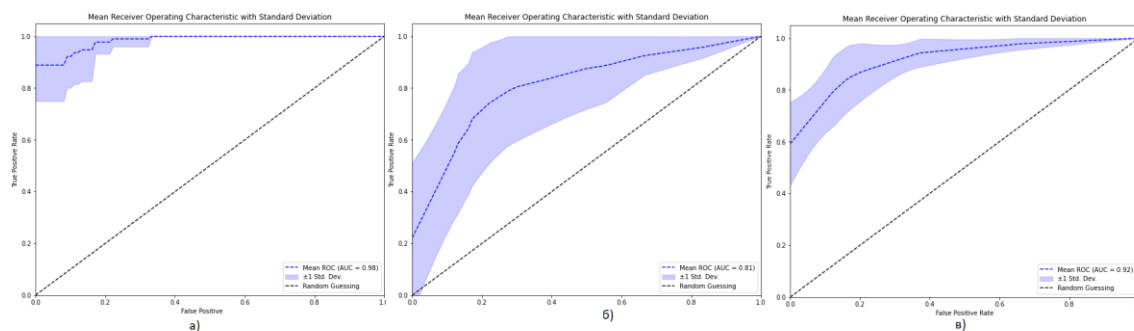


Рисунок 1 – ROC-кривые для идентификации почечной недостаточности методом случайного леса(а), градиентного бустинга(б) и многослойного перцептрона(в)

Самым эффективным методом классификации оказался случайный лес (ROC AUC 0,98), а наименее эффективным и стабильным был градиентный бустинг (ROC AUC 0,81).

Предложенный метод диагностики почечной недостаточности может быть применен в качестве скрининга населения в отдаленных регионах, где не хватает квалифицированных врачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О.Н. Сигитова, Хроническая болезнь почек и хроническая почечная недостаточность: современные подходы к терминологии, классификации и диагностике. //Вестник современной клинической медицины, 2008, т. 1, № 1, с. 83-87.
2. Dr. András Gorzsás User Manual MCR-ALS GUI v4c//Vibrational Spectroscopy Core Facility, Department of Chemistry, Umeå University, SE-90187 Umeå, Sweden, 2016.

IDENTIFICATION OF RENAL INSUFFICIENCY BY OPTICAL SKIN BIOPSY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

K.E. Tomnikova¹

¹Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: ksetomnikova@yandex.ru

The paper considers the problem of identification of renal insufficiency according to the data of Raman scattering of the skin. The following artificial intelligence methods are used to build classification models: random forest, gradient boosting, and multilayer perceptron. The spectral data was preprocessed. The classification features were used, identified by analysis using the method of resolution of multidimensional curves. The classification efficiency is estimated by the area under the ROC curve (ROC AUC) and varies from 0.81 to 0.98

Keywords: Raman spectroscopy, renal failure, artificial intelligence

ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ПЛЁНОК, ИМИТИРУЮЩИХ КОСМИЧЕСКИЕ ЛЬДЫ

С.О. Тучин, Е.А. Батракова, И.О. Антонов

Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

e-mail: serezhenka.tuchin@mail.ru

Проведена калибровка и отладка экспериментальной системы установки «Криогенные поверхностные процессы» (КПП) для исследования механизмов образования сложных органических молекул (СОМ) в межзвёздных льдах. Разработана методика получения ледяных плёнок с контролируемой толщиной. Проведена доработка времяпролётного масс-спектрометра, что повысило его массовое разрешение в ~ 20 раз. На установке КПП были проведены эксперименты по образованию озона в кислородных льдах под действием УФ-излучения, что делает возможным протекание озонлиза по механизму Криге для объяснения формирования кислородсодержащих СОМ в космических условиях.

Ключевые слова: масс-спектрометрия, криогенные поверхностные процессы, массовое разрешение.

Была разработана методика формирования ледяных плёнок с контролируемой толщиной с использованием метода лазерной интерференции. Для повышения равномерности осаждения газовой фазы на серебряную подложку был использован растроб с микроканальной пластиной, результативность которого было подтверждено численным моделированием в «COMSOL». Программный комплекс на «Python» обеспечивает точный мониторинг толщины ледяной плёнки в режиме реального времени за счёт анализа интерференционной картины отражённого HeNe-лазера.

Особое внимание в работе было уделено модернизации времяпролётного масс-спектрометра, предназначенного для детектирования продуктов поверхностных химических реакций. Для минимизации влияния внешних паразитных полей, проникающих в область ионизации, была использована конструкция из полиэфирэфиркетонных вставок, удлиняющей источник ионов. Эта конструкция, установленная между сеткой акселератора и линзой Эйнзеля, с применением высокопрозрачных ионно-оптических элементов на основе пакетов металлических нитей, позволила повысить массовое разрешение с 22 до 410. Полученного массового разрешения достаточно для надёжного отличия молекулярных ионов бутадиена от его изотополога. Благодаря этому была повышена эффективность сбора ионов, что позволило достичь счёта событий более одного на импульс ионизирующего ВУФ-излучения.

В ходе экспериментальных исследований кислородных льдов на установке КПП было обнаружено образование озона (O_3) под действием УФ-излучения с длиной волны 193 нм. На масс-спектрах, полученных в процессе ТПД, четко идентифицированы сигналы, соответствующие молекулярному кислороду (O_2 , $m/z=32$) и озону (O_3 , $m/z=48$), при температурах 32 К и 55 К, соответственно. Это подтверждает, что в условиях, имитирующих межзвёздную среду, возможны реакции фотодиссоциации O_2 с

последующим образованием озона. Данный процесс делает возможным протекание реакций озонлиза по механизму Криге [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Criegee, R. Mechanism of ozonolysis // *Angewandte Chemie International Edition in English*. – 1975. – Vol. 14. – № 11. – P. 745-752.

THEORETICAL STUDY OF THE REACTION PRODUCTS OF FORMAMIDE WITH METHANOL IN THE INTERSTELLAR MEDIUM

S.O. Tuchin¹, E.A. Batrakova¹, I.O. Antonov¹

*¹Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)
e-mail: serezhenska.tuchin@mail.ru*

Calibration and debugging of the experimental system of the "Cryogenic Surface Processes" setup have been completed for investigating the formation mechanisms of COMs in interstellar ices. A methodology for producing ice films with controlled thickness has been developed. The time-of-flight mass spectrometer has been upgraded, increasing its mass resolution from 22 to 410. In the first experiments on the CPS setup, the formation of ozone in oxygen ices under UV irradiation was detected, which enables the occurrence of ozonolysis via the Criegee mechanism to explain the formation of oxygen-containing COMs in space.

Keywords: mass spectrometry, cryogenic surface processes, mass resolution.

УПРАВЛЕНИЕ АНСАМБЛЕМ МИКРОСФЕР В СТРУКТУРИРОВАННОЙ ОПТОТЕРМИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ

В.К. Урюпина^{1,2}, С.П. Котова^{1,2}, Н.Н. Лосевский¹, А.М. Майорова¹

*¹Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

*²Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: uryupinavk@smr.lebedev.ru*

В работе исследуется возможность управления качеством упорядочивания ансамблей микрообъектов в оптотермической ловушке. Для контролируемого изменения скорости движения микрообъектов в область ловушки предлагается менять мощность лазерного излучения либо вязкость раствора. Демонстрируется влияние мощности и параметров среды на качество формируемой структуры захваченных микросфер.

Ключевые слова: оптотермическая ловушка, структурированное световое поле, управление микрообъектами, контролируемое упорядочивание.

Оптотермическая ловушка представляет собой метод манипуляции микроскопическими объектами путем одновременного воздействия оптических и тепловых эффектов, основанный на создании градиентов температуры, вызванных поглощением лазерного излучения средой или подложкой [1]. В результате объекты перемещаются вдоль направления теплового потока, позволяя управлять их положением и ориентацией. На данный момент такие ловушки широко применяются в упорядочивании ансамблей точечных микро- и нанообъектов в выбранные структуры [2-3]. Целью настоящей работы является повышение качества сформированных ансамблей микросфер в оптотермической ловушке.

Исходя из экспериментальных наблюдений, можно утверждать, что на качество получаемой структуры микрообъектов по большей части влияет скорость их движения к максимумам интенсивности лазерного излучения ловушки. Скорость можно регулировать, изменяя мощность лазерного излучения или вязкость раствора за счет изменения концентрации поверхностно активного вещества в буферном растворе или концентрации альбумина в дистиллированной воде.

В результате экспериментальной работы установлены зависимости качества получаемой гексагональной структуры в отдельности от мощности лазерного излучения и от вязкости раствора тетрабората натрия с добавлением додецилсульфата натрия (СДС) разной концентрации. Также исследовано влияние концентрации раствора альбумина в дистиллированной воде на качество оптотермического формирования структур с дальнейшей фиксацией на подложке. Сформированное световое поле в виде гексагонального набора точек и пример оптотермического захвата семи пятимикронных полистироловых микросфер в чистом растворе тетрабората натрия и тетрабората натрия с добавлением 40 мМ СДС представлены на рисунке 1.

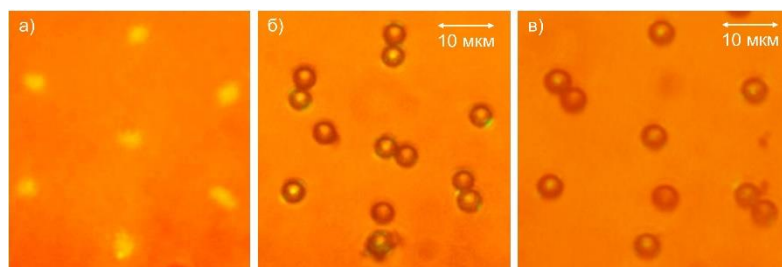


Рис. 1. а) формируемое на эксперименте световое поле, б) захват микросфер в растворе тетрабората натрия, в) захват микросфер в растворе тетрабората натрия с добавлением 40 мМ СДС

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.П. Котова, Н.Н. Лосевский, А.М. Майорова, и др., Структурированные оптотермические ловушки. // Изв. РАН. Сер. Физ., 2022, т. 86, № 12, с. 1685-1689.
2. А.М. Майорова, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский, и др., Возможности оптотермических ловушек для пространственного упорядочения микрообъектов. // Изв. РАН. Сер. Физ., 2024, т. 88, № 12, с. 1844-1850.
3. Jiajie Chen, Jianxing Zhou, Yuhang Peng, et al., Highly-Adaptable Optothermal Nanotweezers for Trapping, Sorting, and Assembling across Diverse Nanoparticles. // Advanced Materials., 2023, v. 36, Is. 9, p. 2309143.

CONTROL OF AN ENSEMBLE OF MICROSPHERES IN A STRUCTURED OPTOTHERMAL TRAP

V.K. Uryupina^{1,2}, S.P. Kotova^{1,2}, N.N. Losevsky¹, A.M. Mayorova¹

¹*Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

²*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

e-mail: uryupinavk@smr.lebedev.ru

The paper explores the possibility of managing the quality of ordering ensembles of microobjects in an optothermal trap. For a controlled change in the speed of movement of microobjects into the trap area, a change in the power of laser radiation or a change in the viscosity of the solution is proposed. The influence of the power and parameters of the medium on the quality of the formed structure of trapped microspheres is demonstrated.

Keywords: optothermal trap, structured light field, micro-object management, controlled ordering.

ФОРМИРОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР МЕТОДАМИ МСХТ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ

Д.А. Услин¹, С.А. Нефедов¹, С.А. Турченик¹

¹*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: uslin720@gmail.com*

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования структур с пористого кремния (ПК) и кремниевых нанонитей (КНН). Кремниевые структуры, полученные методом металл-стимулированного химического травления (МСХТ) в описанных условиях, можно рассматривать как начальную стадию формирования нанонитей. Для ПК, с помощью методов рентгеновской дифрактометрии, удалось выявить зависимость физического уширения от времени электрохимического травления.

Ключевые слова: пористый кремний, кремниевые нанонити, МСХТ, электрохимическое травление, рентгеновская дифракция, порошковый дифрактометр, формирование пор, поверхность кремния, монокристаллический кремний.

Кремний является самым распространенным материалом для создания на его базе солнечных элементов [1], что обуславливается его доступностью. Актуальной является проблема приближения КПД таких устройств к теоретическому пределу в 32% [2], что требует перехода к новым материалам, например, к пористому кремнию (ПК) и кремниевым нанонитям (КНН).

Формирование слоя ПК проходило на монокристаллическом кремнии КДБ-7,5 с ориентацией пластин {111}. Травление проводилось в растворе 46%-й HF (ОСЧ) и C₂H₅ОН в соотношении 1:1. На образцы подавался ток плотностью 8.8, 13.3, 22.2, 53.3 и 71.1 мА/см² в течение 5, 10, 20 и 30 минут. Толщина слоя ПК составила величину порядка 80-100 мкм. Такое значение позволяет проводить рентгеноструктурные исследования дифракционных отражений полученных структур.

МСХТ проходило в два этапа. Во время первого этапа осаждались частицы азотного серебра в течение 30 секунд. На втором этапе пластины травились в растворе HF + H₂O₂ (10:1) в течение 30, 60, 90 и 120 минут. Удаление частиц серебра проводилось путем погружения пластин в HNO₃ на 15 минут. С помощью электронного растрового микроскопа Quanta 200 были исследованы поверхность и сколы полученных образцов.

Ожидалось, что с увеличением времени травления КНН будут увеличиваться по длине до определенного значения, а затем стравливаться с поверхности. Но из результатов проведенного эксперимента, эта зависимость не наблюдается. Влияние кристаллографической ориентации исходной кремниевой пластины на структуру поверхности при этом не исключается.

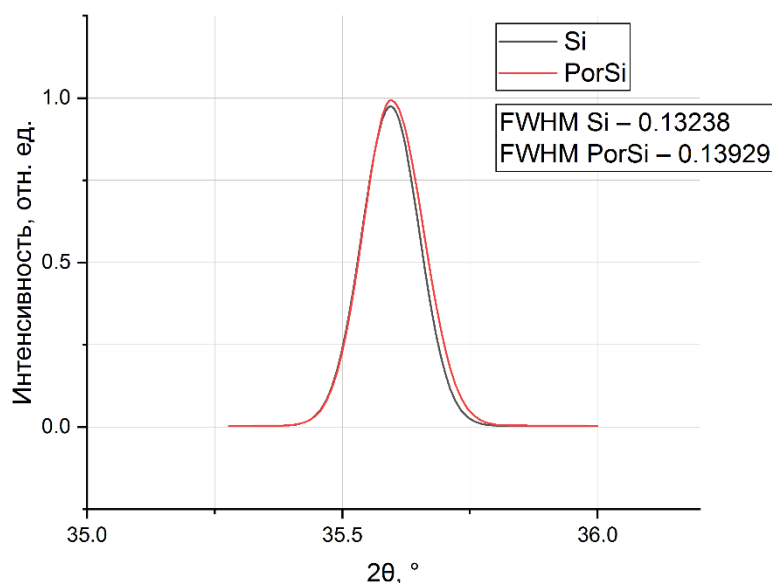


Рис. 1. Профили дифракционных максимумов (111) от исходного монокристаллического кремния и от слоя пористого кремния

Физическое уширение линии (111) в зависимости от времени травления при различных плотностях тока составило в среднем 0.007° по шкале 2θ (рис. 1). В условиях нашей электролитической ячейки все кривые показали максимум уширения при значении времени травления 10 минут. При малом значении плотности тока этот эффект выражен слабее, при больших значениях – более явно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Saga T. // NPG Asia Mater. 2010. V.2 №3. P. 96. Doi: 10.1038/asiamat.2010.82
2. V.M. Andreev, L.B. Karlina, V.P. Khvostikov, V.D. Rumyantsev, M.Z. Shvarts, S.V. Sorokina // Proc. 13th Europ. Photovoltaic Solar Energy Conf. 1995. P. 329.

FORMATION OF SILICON NANOSTRUCTURES BY MACE AND ELECTROCHEMICAL ETCHING METHODS

D.A. Uslin¹, S.A. Nefedov¹, S.A. Turchenik¹

¹Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: uslin720@gmail.com

This work presents the results of an experimental investigation of porous silicon (PSi) and silicon nanowire (SiNW) structures. The silicon structures, fabricated via metal-assisted chemical etching (MACE) under the specified conditions, can be considered an initial stage of nanowire formation. For porous silicon, the use of X-ray diffractometry methods revealed a dependence of the physical peak broadening on the electrochemical etching duration.

Keywords: porous silicon, silicon nanofilaments, MACE, electrochemical etching, X-ray diffraction, powder diffractometer, pore formation, silicon surface, single crystal silicon.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭРИТРОЦИТОВ У ЗДОРОВЫХ И ОНКОБОЛЬНЫХ КРЫС: ИНДИКАТОРЫ СИСТЕМНОЙ ПАТОЛОГИИ

А.П. Фащевский¹, Е. Н. Лазарева¹, А. М. Мыльников², Н. А. Наволокин²,
И. Ю. Янина¹

¹ Саратовский государственный университет
(410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83)

² Саратовский государственный медицинский университет
(410012, г. Саратов, ул. Большая Казачья, 112)

e-mail: workfash@hotmail.com

Эритроциты служат индикаторами физиологического состояния и патологий. Проведено сравнение морфометрических параметров эритроцитов здоровых крыс и животных с индуцированными опухолями. Изображения получены методом оптической микроскопии. Определялись площадь клетки, оси эллипса, диаметры Ферре, к-фактор. У больных животных площадь снижалась на 45–50%, при сохранении формы клеток. Методика выявляет изменения, сопровождающие опухолевый процесс, и может использоваться как дополнительный диагностический инструмент.

Ключевые слова: эритроциты, опухоль, оптическая микроскопия, геометрические параметры эритроцитов

Введение

Эритроциты чувствительно реагируют на системные изменения, сопровождающие опухолевый процесс. Их морфометрический анализ позволяет выявлять ранние признаки патологий и оценивать влияние злокачественных новообразований на организм [1, 2, 3].

Материалы и методы

В исследование включены две группы крыс линии Вистар: одна с опухолями (3 крысы) и одна группа сравнения. Патологическая модель имитировала рак печени человека РС-1. Забор крови производили из хвостовой вены животного. Далее делался мазок крови. Для эритроцита каждой группы определялись площадь и к-фактор с использованием программы ImageJ по микрофотографиям. Эти параметры позволяли различать изменения, связанные с размером и формой клеток.

Площадь клеток определялась с помощью программы ImageJ на основе откалиброванных изображений, полученных методом оптической микроскопии. Значения к-фактора (k) рассчитывались с помощью выражения

$$k = \frac{D_{F \min}}{D_{F \max}}, \quad (1)$$

где $D_{F \min}$ и $D_{F \max}$ — минимальный и максимальный диаметры Ферре.

У крыс с опухолями отмечено значительное уменьшение площади эритроцитов при неизменных показателях формы (рис. 1(а, б)). Это указывает на то, что прогрессирование опухоли влияет преимущественно на размеры клеток, не затрагивая их геометрию.

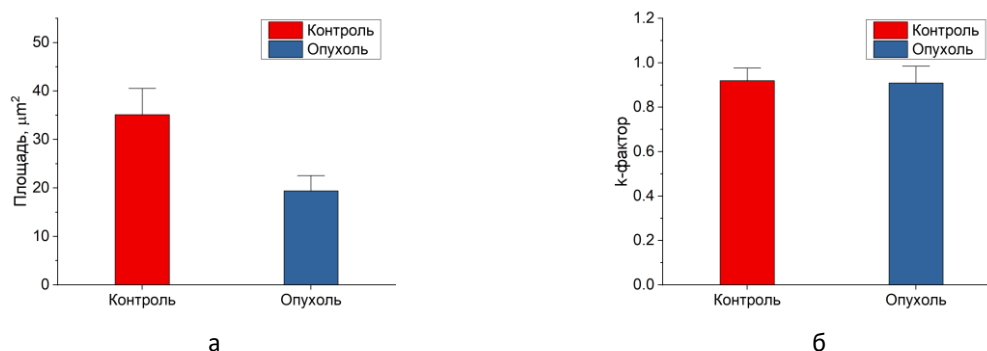


Рисунок 1. Среднее значение площади (а) и k-фактор (б) эритроцитов здоровой крысы и крыс с опухолью

Вывод

Количественная морфометрия эритроцитов является чувствительным индикатором системных изменений, вызванных опухолевым процессом, и может использоваться для мониторинга состояния организма.

Исследование поддержано грантом РФФИ No. 25-22-00144, <https://rscf.ru/project/25-22-00144/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. F. DİLEK, M. UYANIK, Investigation of Morphometric Changes in Erythrocytes in Neurological Diseases: Can New Optical Techniques Lead to the Development of a Biomarker? // Journal of Balkan Science and Technology, 2024, v. 3, № 3, p. 65-76.
2. Adewoyin A. S. et al., Erythrocyte Morphology and Its. // Erythrocyte, 2019, p. 7.
3. Ghosh S. et al., Evaluating the morphology of erythrocyte population: An approach based on atomic force microscopy and flow cytometry. // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes, 2016, v. 1858, № 4, p. 671-681.

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF ERYTHROCYTES IN HEALTHY AND CANCER-BEARING RATS: INDICATORS OF SYSTEMIC PATHOLOG

A.P. Fashchevskii¹, E.N. Lazareva¹, A.M. Mylnikov², N.A. Navolokin²,
I. Yu. Yanina¹

¹ Saratov State University (83 Astrakhanskaya St., Saratov, 410012, Russia)

²Saratov State Medical University
(112 Bolshaya Kazachya St., Saratov, 410012, Russia)

e-mail: workfash@hotmail.com

Erythrocytes serve as indicators of physiological condition and pathology. Morphometric parameters of erythrocytes from healthy rats and rats with induced tumors were compared. Images were obtained using an optical microscope. The analyzed parameters included cell area, ellipse axes, Feret diameters, k-factor, and eccentricity. In diseased animals, the cell area decreased by 45–50%, while the shape remained unchanged. The proposed method reveals alterations associated with tumor processes and can serve as an additional diagnostic tool.

Keywords: erythrocytes, tumor, optical microscopy, geometric parameters of erythrocytes

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ТЕНЕВЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**Н.К. Федотов, Д.А. Вихляев, С.Д. Девятков, А.В. Емельянов,
Д.О. Замураев, С.Ф. Ковалёва, Д.С. Носуленко, А.С. Тищенко,
А.Л. Шамраев, Н.А. Федоров**

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный
Ядерный Центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической
физики имени академика Е. И. Забабахина
(ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. ак. Е. И. Забабахина»)
(456770, Челябинская область, г. Снежинск, ул. Васильева, д. 13)
e-mail: dep5@vniitf.ru*

В работе представлено описание системы регистрации теневых рентгеновских изображений на основе сферически изогнутого кристалле кварца и ПЗС-камеры. За счет большого расстояния от регистратора до источника рентгеновского излучения и просвечиваемого объекта, достигается малый уровень фонового сигнала. В экспериментах на мощной лазерной установке получены изображения миллиметровых объектов с разрешением 10 мкм.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, изогнутый кристалл, система регистрации теневых изображений.

Одним из важнейших направлений физики высоких плотностей энергии является исследование быстропротекающих процессов с помощью импульсной рентгенографии, которая дает информацию о распределении вещества в заданный момент времени. С появлением новых задач и возросших требований к получаемым изображениям стали набирать популярность рентгеновские микроскопы на основе изогнутых кристаллов. Они позволяют получать увеличенные рентгеновские изображения исследуемых объектов с высоким пространственным разрешением (~ 10 мкм) [1, 2], а также характеризуются большим полем зрения (несколько мм). Кроме этого, системы на основе кристаллов работают в узком спектральном диапазоне ($\Delta\lambda/\lambda=10^{-3}-10^{-4}$), что позволяет получать изображения в практически монохроматических лучах. Это упрощает интерпретацию результатов экспериментов по рентгеновскому зондированию вещества, особенно в тех случаях, когда исследуемый объект сам является ярким источником рентгеновского излучения.

Для проведения экспериментов по рентгенографии объектов на мощных лазерных установках создана система регистрации теневых изображений, основным элементом которой является кристалл кварца ($10\bar{1}1$) ($2d = 6,68 \text{ \AA}$) изогнутый по сферической поверхности радиусом $R = 250$ мм. Разработанная система настраивалась на линию Si-He_α ($E = 1,87 \text{ кэВ}$), брэгговский угол для которой составляет $86,4^\circ$.

Отработка системы регистрации проводилась на мощной фемтосекундной лазерной установке. Источником рентгеновского излучения в экспериментах служила кремниевая полированная пластинка, облучаемая лазерными импульсами с энергией $E_{\text{ли}}$

$= 1,8 \div 2,6$ Дж, длительностью $\tau_{\text{ли}} = 24$ фс. Интенсивность лазерного импульса на мишени составляла $\sim 5 \times 10^{19}$ Вт/см².

В результате проведенных экспериментов определено, что разрешение созданной системы составило 10 мкм в сагиттальном и меридиональном направлении. При просвечивании мишени монохроматическим излучением получают изображения, обладающие малым уровнем фонового сигнала.

С помощью созданной системы зарегистрировано полутеневое изображение трубчатой структуры крыла насекомого с внешним диаметром 30 мкм и внутренним 10 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. B. Kozioziemski et al, X-ray imaging methods for high-energy density physics applications, Rev. Sci. Instrum. 94,041102, 2023
2. G. N. Hall. et al. The Crystal Backlighter Imager: A spherically bent crystal imager for radiography on the National Ignition Facility, Rev. Sci. Instrum. 90, 013702, 2019

SYSTEM REGISTRATION SHADOW X-RAY IMAGES

**N.K. Fedotov, D.A. Vikhlyayev, S.D. Devyatkov, A.V. Yemelyanov,
D.O. Zamuraev, S.F. Kovaleva, D.S. Nosulenko, A.S. Tishchenko,
A.L. Shamraev, N.A. Fedorov**

*Federal State Unitary Enterprise "Russian Federal Nuclear Center — All-Russian
Scientific Research Institute of Technical Physics named after Academician E. I.
Zababakhin*

(FSUE "RFNC-VNIITF named after Academician E. I. Zababakhin")

(Vasilieva str., 13, Snezhinsk, 456770, Chelyabinsk region)

e-mail: dep5@vniitf.ru

The paper describes a system for recording shadow X-ray images based on a spherically curved quartz crystal and a CCD camera. Due to the large distance from the recorder to the X-ray source and the illuminated object, a low background signal level is achieved. In experiments on a high-power laser installation, images of millimeter objects with a resolution of 10 microns were obtained.

Keywords: X-ray radiation, curved crystal, shadow image registration system.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОКУСИРОВКИ СХОДЯЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ НА СТРУКТУРЕ NiCu/АЛМАЗЕ

Н. Ю. Фролов¹, А. Ю. Клоков¹, А. И. Шарков¹, С. И. Ченцов¹

¹Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН

(119991, г. Москва, Ленинский проспект, дом 53)

e-mail: n.frolov@lebedev.ru

Исследовано распространение сходящихся ПАВ на пластине природного алмаза с ориентацией (001). Показано, что поле поверхностных волн в фокусе можно сконцентрировать в область с размерами $\sim 4 \text{ мкм}$, что близко к дифракционному пределу. Магнитуда волны в фокусе в 15 раз превышает магнитуду волны в области возбуждения. Полученный результат показывает возможность создания сверхвысоких динамических деформаций в фокусе сходящейся ПАВ при радикально уменьшенных требованиях к лучевой стойкости материала.

Ключевые слова: поверхностные акустические волны, сходящиеся поверхностные волны, алмаз, гиперзвук.

В данной работе продемонстрирована возможность генерации сходящихся поверхностных акустических волн (ПАВ) гиперзвуковых частот, распространяющихся вдоль поверхности алмаза. Эксперименты происходили на установке, реализующей двухцветную методику «накачка-зондирование». Для возбуждения фронта сходящихся ПАВ использовалось кольцевое лазерное возбуждение, получаемое после прохождения луча возбуждения через аксикон с углом 1.0° и объектива с апертурой 0.65. При такой конфигурации схемы на поверхности образца происходило формирование кольцевого распределения интенсивности света диаметром около 60 мкм и шириной $2\text{--}3 \text{ мкм}$. Распространяясь, ПАВ вызывала изменения фазы комплексного коэффициента отражения на величину $\sim 10^{-5} \text{ rad}$, которые регистрировались вторым зондирующим импульсом на длине волны источника излучения при помощи модифицированного интерферометра Саньяка [1]. Для сканирования поверхности зондирующим лучом в схему был введен 4f-сканер. Оптическая линия задержки, установленная в канал регистрации, позволяла наблюдать пространственную картину упругого поля в разные моменты времени относительно импульса возбуждения.

Было установлено, что сходящиеся ПАВ, несмотря на наличие дисперсии и анизотропии групповой скорости, могут быть сфокусированы в область с размерами $\sim 4 \text{ мкм}$, что близко к дифракционному пределу. При этом достигнутая в результате величина деформации в точке фокуса составила $2 \cdot 10^{-5}$, что более чем в 15 раз больше, чем в области возбуждения. Использованный метод генерации сходящихся поверхностных волн гиперзвука представляет интерес для расширения арсенала методов контролируемого воздействия на центры окраски в алмазах.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФ 24-72-00132.

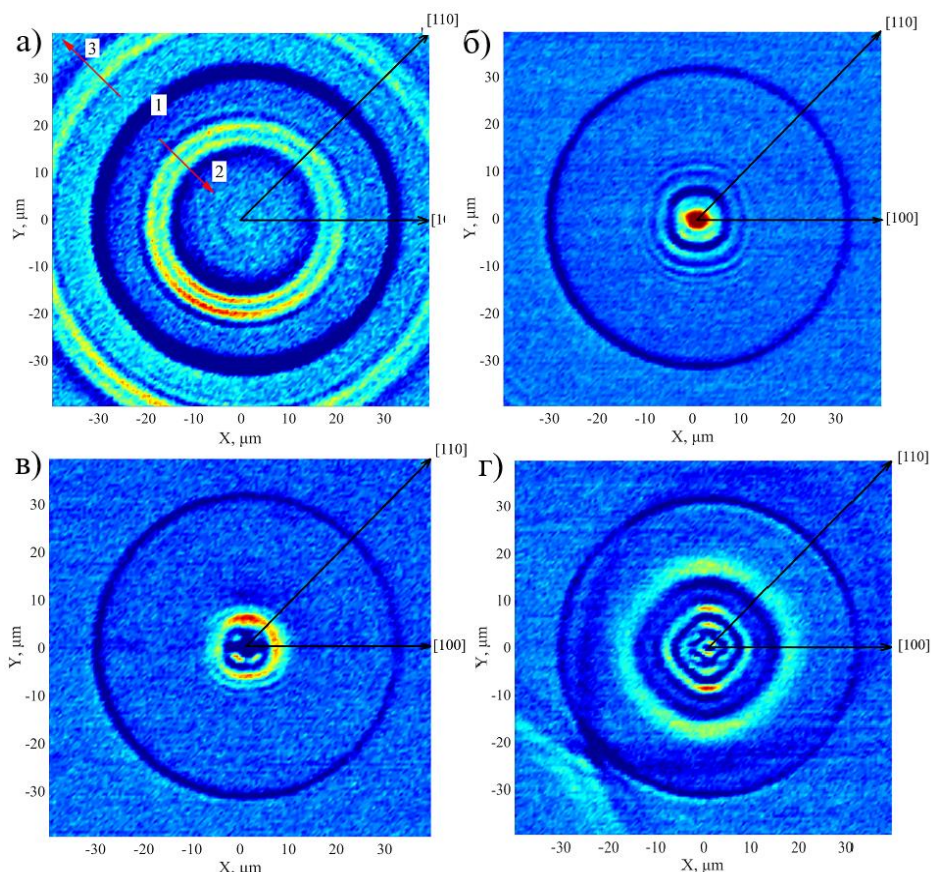


Рис. 1. Поле сходящейся ПАВ в моменты времени 1616 нс (а), 3056 нс (б), 3556 нс (в) и 4556 нс (г).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tachizaki T. et al. Scanning ultrafast Sagnac interferometry for imaging two-dimensional surface wave propagation //Review of Scientific Instruments. – 2006. – Т. 77. – №. 4.

STUDY OF FOCUSING OF CONVERGING SURFACE ACOUSTIC WAVES OF HYPERSONIC FREQUENCIES ON THE NICU/DIAMOND STRUCTURE.

N. Yu. Frolov¹, A. Yu. Klovov¹, A. I. Sharkov¹, S. I. Chentsov¹

¹*P.N. Lebedev Physical Institute RAS Russia*

(Leninskii pr., 53, Moscow, Russia, 119991)

e-mail: n.frolov@lebedev.ru

The propagation of converging SAWs on a natural diamond plate with (001) orientation was studied. It was shown that the surface wave field at the focus can be concentrated into a region with dimensions of $\sim 4 \mu\text{m}$, which is close to the diffraction limit. The wave magnitude at the focus is 15 times greater than the wave magnitude in the excitation region. This result demonstrates the possibility of creating ultra-high dynamic deformations at the focus of a converging SAW with radically reduced requirements for the material's radiation resistance.

Keywords: surface acoustic waves, converging surface waves, diamond, hypersound.

СИНТЕЗ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СВЕРХ- И СУБКРИТИЧЕСКИХ СРЕДАХ

Д.С. Хабарова¹, Е.Н. Тупикова¹, И.А. Платонов¹

¹*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: khabarova.ds@ssau.ru*

Синтез в сверх- и субкритических средах является перспективным методом получения неорганических материалов, обладающих уникальными свойствами. Исследованиями в данной области занимаются ученые во многих странах. В рамках настоящего исследования в субкритической воде из двойных комплексов были получены дисперсные фазы металлической платины и оксидов 3d-металлов размеров в несколько сотен нм. Морфологические характеристики и состав полученных частиц различными физико-химическими методами. Были определены функциональные свойства частиц в качестве катализаторов.

Ключевые слова: неорганические материалы, каталитические фазы, субкритическая вода.

Неорганические материалы широко применяются в различных областях промышленности, науки, техники и медицины. Современные тенденции развития данной области направлены на разработку новых или совершенствование существующих методов получения функциональных материалов, размер которых укладываются в микро- и нанодиапазон. Взгляды многих исследователей данной области направлены получение металлических и оксидных наночастиц, проявляющих уникальные свойства, которые напрямую связаны с их морфологическими характеристиками. В настоящее время известно множество методов синтеза наночастиц неорганических материалов, в основе которых лежат различные процессы. Каждый из процессов обладает своими отдельными достоинствами, но их объединяет существенный недостаток – сложность контроля в процессе синтеза размера частиц, в том числе распределения по размерам. В последние годы активно исследуется метод, в основе которого лежит синтез частиц в суб- и сверхкритических средах, который позволяет исключить вышеупомянутый недостаток [1-4].

В настоящей работе отображены результаты исследований, посвященные синтезу из двойных комплексных соединений каталитических фаз платины и одного из переходных металлов (кобальт, никель, хром) в субкритической воде и исследования морфологии, фазового состава и функциональных свойств полученных частиц.

В работе в качестве соединений-предшественников использовали двойные комплексные соединения, сочетающие на атомарном уровне благородный и 3d металл.

Методика эксперимента заключалась в следующем: во фторопластовый вкладыш заливали раствор соединений-предшественников и 0,01М КОН до pH 8-9. Раствор деаэрировали, герметизировали и нагревали при 190°C в течение 150 мин с постоянным перемешиванием. Давление внутри герметично закрытого автоклава создавалось за счет водяных паров при заданной температуре и составляло порядка 12,5 атм.

Различными физико-химическими методами установлено, что в результате полного превращения исходных соединений, образуются дисперсные порошки размером несколько мкм, которые по данным сканирующей электронной микроскопии и рентгеновского анализа представляют композитные частицы оксидных фаз переходных металлов, включающие агломераты частиц металлической платины размером несколько сотен нм.

Полученные в условиях повышенной температуры и давления дисперсные фазы могут быть осаждены на различные носители. И по результатам исследований демонстрируют каталитические активности в реакциях окисления углеводородов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Zhang, E. Can. Preparation of supported metallic nanoparticlea using supercritical fluids: A review // J. of Supercritical Fluids, 2006, №38, p. 252-267.
2. М. Е. Маркова, А. В. Гавриленко, А. А. Степачёва, В. П. Молчанов, В. Г. Матвеева, М. Г. Сульман, Э. М. Сульман. Исследование структуры кобальтосодержащих катализаторов, синтезированных в субкритических условиях // Кинетика и катализ, 2019, т. 60, № 5, С. 624-632.
3. Е.Н. Тупикова, Г.Д. Мальчиков. Каталитические системы "металл платиновой группы -металлический носитель" // Катализ в промышленности, 2004, №4, С. 44-50.
4. O.V. Belousov, A.V. Sirotina, N.V. Belousova. Formation of Nanomaterials Based on Non-Ferrous and Noble Metals in Autoclaves // J. of Siberian Federal University Engineering & Technologies, 2014, V. 2, № 7, P. 138-145.

SYNTHESIS OF INORGANIC MATERIALS IN SUPER- AND SUBCRITIC ENVIRONMENTS

D.S. Khabarova¹, E.N. Tupikova¹, I.A. Platonov

¹*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: khabarova.ds@ssau.ru*

Synthesis in super- and subcritical environments is a promising method for producing inorganic materials with unique properties. Researchers in many countries are pursuing this field. In this study, dispersed phases of metallic platinum and 3d metal oxides measuring several hundred nanometers were obtained from binary complexes in subcritical water. The morphological characteristics and composition of the resulting particles were determined using various physicochemical methods. The functional properties of the particles as catalysts were determined.

Keywords: inorganic materials, catalytic phases, subcritical water.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ УДАРНЫХ ВОЛН НА ПОЛУПРОВОДНИКИ IV ГРУППЫ (SI, SiC)

Э.Х. Хамзин¹, С.А. Нефедов¹, А.С. Панин², Д.Н. Артемьев¹, Е.Ю. Тарасова²,
А.Ф. Крутов³

¹ Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

² Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

³ Международный научно-исследовательский центр по теоретическому
материаловедению (МНИЦТМ)
(г. Самара, ул. Ново-Садовая, 12)
e-mail: elkhan.k.khamzin@gmail.com

В работе исследуется возможность применения ударно-волновой обработки традиционных полупроводниковых материалов — кремния (Si) и карбида кремния (SiC) — в качестве инструмента дефектной инженерии для микро- и нанoeлектроники. Показано, как управляемое формирование дефектов с помощью ударных волн позволяет модифицировать электрические и структурные свойства полупроводников.

Ключевые слова: Лазерно-индуцированная ударная волна (ЛИУВ), полупроводники, кремний, карбид кремния, дефектная инженерия, ширина запрещенной зоны, Молекулярная динамика (МД), метод конечных элементов (МКЭ).

Современная микро- и нанoeлектроника сталкивается с ограничениями традиционных методов модификации полупроводников, таких как ионная имплантация и термическая обработка. Эти подходы не обеспечивают локального контроля дефектности и ухудшают характеристики наноструктур. В связи с этим возрастает интерес к дефектной инженерии и новым технологиям воздействия на материал. Одним из перспективных методов является лазерно-индуцированная ударно-волновая обработка (ЛИУВ) [1], позволяющая локально и кратковременно изменять структуру кристалла без нагрева всего объема. Цель данной работы исследовать влияние ЛИУВ на полупроводники IV группы и показать её потенциал как инструмента дефектной инженерии для управления электрическими и структурными свойствами материалов. Для исследования выбраны кремний (Si) и карбид кремния (SiC). Кремний — основной материал микроэлектроники, но его масштабируемость ограничена тепловыми и технологическими факторами [2]. SiC, напротив, является перспективным широкозонным полупроводником для силовой и высокочастотной электроники, однако труден в обработке традиционными методами [3]. Такое сочетание объектов позволяет одновременно решать задачи оптимизации базовой технологии и поиска новых подходов к перспективным материалам.

Ударное воздействие лазером через жидкую среду позволяет локализовано модифицировать структуру монокристаллических полупроводниковых пластин с высокой точностью по глубине что открывает огромные возможности для разработки и развития полупроводниковых устройств. Расчетные методы МД и МКЭ в рамках классической физики хорошо согласуются с экспериментальным анализом рамановской спектроскопии и рентгеновской дифракции. Рентгеноструктурный и спектральный анализ показали уменьшение ширины запрещенной зоны без сопровождения фазового перехода, однако при возможности варьирования экспериментальных параметров возможны

фазовые переходы что требует дополнительного исследования. Ознакомительные данные представлены на рис.1

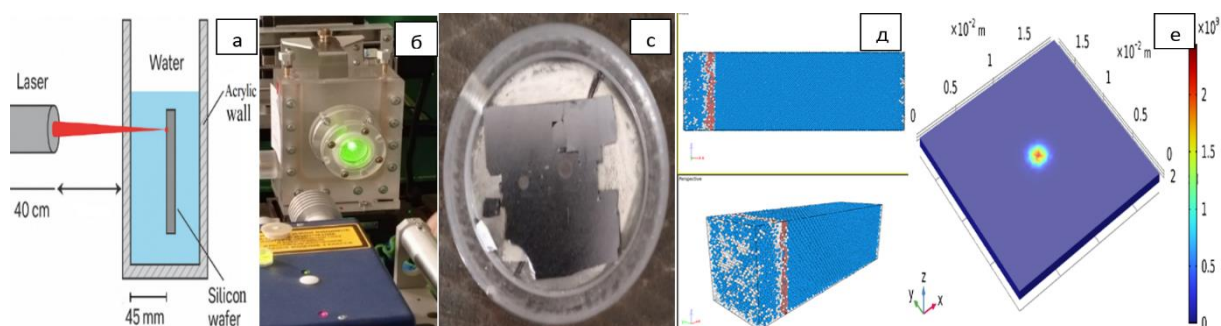


Рис. 1. Ознакомительные графические данные: а) экспериментальная схема, б) фото экспериментальной установки, с) фото образца, д) МД-модель, е) МКЭ-модель

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V.A. Gnatyuk, T. Aoki, Y. Hatanaka, Laser-induced shock wave stimulated doping of CdTe crystals. // Appl. Phys. Lett., 2006, v.88, №24, p.242111. DOI:10.1063/1.2213511.
2. D.J. Meindl, J.A. Davis, et al., Limits on silicon nanoelectronics for terascale integration. // Science, 2001, v.293, №5537, pp.2044–2049. DOI:10.1126/science.293.5537.2044.
3. M. Kamiński, K. Król, N. Kwietniewski, M. Myśliwiec, M. Sochacki, B. Stonio, R. Kisiel, A. Martychowiec, K. Racka-Szmidt, A. Werbowy, et al., The overview of silicon carbide technology: status, challenges, key drivers, and product roadmap. // Materials, 2025, v.18, №1, p.12. DOI:10.3390/ma18010012.

INFLUENCE OF LASER-INDUCED SHOCK WAVES ON GROUP IV SEMICONDUCTORS (SI, SiC)

**E.Kh. Khamzin¹, S.A. Nefedov¹, A.S. Panin², D.N. Artemyev¹,
E.Yu. Tarasova², A.F. Krutov^{3,4}**

¹ Samara National Research University (34 Moskovskoe shosse, Samara, 443086, Russia)

² Samara Branch of the Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences
(221 Novo-Sadovaya St., Samara, 443011, Russia)

³ International Research Center for Theoretical Materials Science (IRCTMS)

(12 Novo-Sadovaya St., Samara, Russia)

e-mail: elkhan.k.khamzin@gmail.com

This work explores the potential application of shock-wave processing of traditional semiconductor materials — silicon (Si) and silicon carbide (SiC) — as a tool of defect engineering for micro- and nanoelectronics. It is demonstrated that controlled defect formation by means of shock waves enables modification of the electrical and structural properties of semiconductors.

Keywords: laser-induced shock wave (LISW), semiconductors, silicon, silicon carbide, defect engineering, band gap.

ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ МАНИПУЛЯЦИИ КРУПНЫМИ МИКРООБЪЕКТАМИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

К.А. Целогородцев^{1,2}, С.П. Котова^{1,2}, Н.Н. Лосевский¹

¹*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

²*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: tselogorodtsev23@mail.ru*

В прикладной оптике регулярно возникает необходимость контролируемой манипуляции крупногабаритными микрообъектами сложной формы, включая их захват, вращение и перемещение. В работе предложены два подхода, которые предполагают уменьшение воздействия лазерного излучения на исследуемый крупный микрообъект сложной формы за счет его захвата набором точечных оптических ловушек по периметру, – на основе спиральных пучков и на основе секторных дифракционных оптических элементов.

Ключевые слова: крупные микрообъекты, оптическая манипуляция, оптический пинцет, структурированные поля.

В связи с многообразием форм и структур микрообъектов, встречаемых в задачах оптической манипуляции, для захвата конкретного образца возникает необходимость построения световых полей с заданным распределением интенсивности. Возможности манипуляции микрообъектами масштаба десятков микрометров имеют важное значение в различных областях науки и технологий, поскольку многие ключевые процессы и структуры функционируют именно на данном масштабе. Особенно часто такие объекты встречаются в биомедицинских задачах [1].

Один из вариантов снижения негативного лазерного воздействия на биообъекты - создание структурированных световых полей в виде различных конфигураций (например, замкнутые контуры или наборы точечных ловушек) [2]. Основной задачей работы являлось формирование мультиточечной оптической ловушки для захвата и манипуляции микроскопическими объектами (размером несколько десятков микрометров) неправильной формы при помощи жидкокристаллического пространственного модулятора света (ЖК ПМС).

Для формирования мультиточечной ловушки были предложены два подхода – на основе спиральных пучков и на основе секторных дифракционных оптических элементов (ДОЭ). В экспериментальной проверке была использована установка оптического пинцета. Центральный пучок (появившийся вследствие отражения от модулятора) и краевая засветка фильтровались. Для этого в рабочей области микроскопа на рассчитанное фазовое распределение накладываются клин и линза (-0.8 D) при помощи программного обеспечения для модулятора.

Были проведены эксперименты по перемещению и вращению микрочастицы относительно ее центра масс. Вращение светового поля осуществлялось через

программное обеспечение ЖК ПМС с точностью поворота в 1 градус. Всего на экспериментах был достигнут поворот на 180 градусов по часовой стрелке и против при мощности лазерного излучения 150 мВт. После успешного поворота микрочастицы сложной формы были проведены эксперименты по оптическому перемещению.

В результате проведенных исследований световые поля, сформированные на основе секторных ДОО, показали возможность более подконтрольной оптической манипуляции, поскольку при оптическом захвате исследуемых микрочастиц набором пучков, обладающим свойством спиральности, наблюдалось их неконтролируемое вращение. Этот эффект появляется из-за наличия существенно ненулевого углового момента и неоднородности распределения интенсивности у сформированных вихревых световых полей. При этом трудоемкость расчета полей заставляет нас задуматься о невозможности использования данного метода при решении задач, связанных с контролируемым перемещением и точным поворотом крупных микрообъектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. Choudhary, A. Mossa, M. Jadhav, et al., Bio-Molecular Applications of Recent Developments in Optical Tweezers. // *Biomolecules*, 2019, v. 9, № 1, p. 23.
2. Y. Yang, Y. Ren, M. Chen, et. al. Optical trapping with structured light: A review // *Advanced Photonics*. 2021, v. 3, № 03, p. 034001.

FORMATION OF LIGHT FIELDS FOR MANIPULATION OF LARGE MICRO-OBJECTS OF COMPLEX SHAPE

K.A. Tselogorodtsev^{1,2}, S.P. Kotova^{1,2}, N.N. Losevsky¹

*¹Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

*²Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: tselogorodtsevk23@mail.ru*

In applied optics, there is a regular need for controlled manipulation of large-sized micro-objects of complex shape, including their capture, rotation and displacement. The paper proposes two approaches that involve reducing the effect of laser radiation on a large micro-object of complex shape under study due to its capture by a set of point optical traps around the perimeter, based on spiral beams and based on sector diffraction optical elements.

Keywords: large micro-objects, optical manipulation, optical tweezers, structured fields.

РАСЧЁТ ЭНЕРГИЙ ИОНИЗАЦИИ КОНФОРМЕРОВ ПРОДУКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭТАНА С АЦЕТАЛЬДЕГИДОМ И ФОРМАМИДОМ В КОНТЕКСТЕ МЕЖЗВЁЗДНОЙ ХИМИИ

А.С. Шишова*, И.О. Антонов

Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

*e-mail: nsshishowa@gmail.com

Происхождение сложных органических молекул в межзвёздной среде остаётся открытой научной проблемой. В работе выполнены *ab initio*-расчёты энергий ионизации для радиационно-инициированных реакций в аналогах межзвездных льдов состава этан/ацетальдегид и этан/формамид с учётом конформационной изомерии. Определены стабильные изомеры и возможные конформеры продуктов реакций. Полученные данные позволяют детектировать данные продукты в лабораторных экспериментах и уточнять механизмы образования органических соединений в космических условиях.

Ключевые слова: квантохимические расчеты, потенциал ионизации, этан, ацетальдегид, формамид.

Проблема происхождения сложных органических молекул в межзвёздной среде до сих пор остаётся открытой. Для её изучения необходим междисциплинарный подход, включающий лабораторные эксперименты, квантово-химические расчёты электронной структуры, симуляцию химической эволюции межзвёздного вещества и астрономические наблюдения.

Масс-спектрометрия является мощным универсальным методом детектирования органических молекул в лабораторных экспериментах. Для различения разных изомерных форм органических молекул в масс-спектрометрии используется мягкая однофотонная ионизация перестраиваемым вакуумным ультрафиолетовым излучением. Квантово-механические расчеты позволяют с высокой точностью определить энергии ионизации интересующих молекул, не прибегая к прямым измерениям что особенно удобно для экзотических или нестабильных молекул в образующихся в межзвездной среде.

В данной работе представлены предполагаемые схемы механизмов образования возможных продуктов радиационно-инициированных реакций в аналогах межзвездных льдов состава этан/ацетальдегид ($C_2H_6 + CH_3COH$) и этан/формамид ($C_2H_6 + NH_2COH$). Произведен *ab initio* расчет энергий ионизаций продуктов с учетом их конформационной изомерии.

**CALCULATION OF IONIZATION ENERGIES OF CONFORMERS OF THE
REACTION PRODUCTS OF ETHANE WITH ACETALDEHYDE AND
FORMAMIDE IN THE CONTEXT OF INTERSTELLAR CHEMISTRY**

A.S. Shishova*, I.O. Antonov

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

**e-mail: nsshishowa@gmail.com*

The origin of complex organic molecules in the interstellar medium remains an open scientific problem. In this work, ab initio calculations of ionization energies were performed for the products of radiation induced reactions in the model interstellar ice analogues composed of ethane/acetaldehyde and ethane/formamide, taking into account conformational isomerism. Stable isomers and possible conformers of the reaction products were identified. The obtained data provide a basis for the identification of the products in the laboratory experiments and for refining the mechanisms of organic compound formation under space conditions.

Keywords: quantum chemical calculations, ionization potential, ethane, acetaldehyde, and formamide.

РИБОФЛАВИН ДЛЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

П.П. Шрам^{1,2}, Р.А. Акасов^{1,2}, И.А. Рязанцев^{1,2}, Т.В. Егорова^{1,2}

¹Московский педагогический государственный университет
(119435, г. Москва, ул. Малая Пироговская, 29/7с1)

²Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского,
(119991, г. Москва, Абrikосовский пер., 2)
e-mail: p.schram@yandex.ru

В работе экспериментально подтверждено антибактериальное фотодинамическое действие флавинмононуклеотида в условиях, воспроизводимых при хирургических операциях. Эффективность показана как на модельных бактериях *E. coli*, так и на клинических изолятах *S. aureus* и *P. aeruginosa*, высеянных из инфицированных ран пациентов.

Ключевые слова: антимикробная фотодинамическая терапия, фотосенсибилизатор, рибофлавин, устойчивость к антибиотикам.

Внутрибольничные инфекции в области хирургического вмешательства представляют серьезную проблему для медицины [1]. Поскольку консервативное лечение таких заболеваний оказывается неэффективным, в последнее время стремительно развиваются альтернативные методы терапии. Таким методом является интраоперационная антибактериальная фотодинамическая терапия (аФДТ), принцип действия которой основано на поглощении фотосенсибилизатором света и образовании активных форм кислорода [2]. Для интраоперационной аФДТ может быть использован эндогенный фотосенсибилизатор флавинмононуклеотид (ФМН). Несколько исследователей подтвердили эффективность антибактериального действия ФМН, однако те условия не воспроизводимы во время хирургической операции [3]. Целью данной работы была оценка антибактериального действия ФМН в условиях, воспроизводимых при интраоперационной аФДТ.

Для исследования антибактериального фотосенсибилизирующего действия ФМН суспензию *E. coli* инкубировали с растворами ФМН в диапазоне концентраций 0 – 5 мМ в течение 30 минут. Аликвоты полученных суспензий переносили в лунки 96-луночного планшета и подвергали облучению светодиодом с длиной волны $\lambda=450$ нм в течение 3 минут суммарной дозой 20 Дж/см². После облучения образцы растирали по поверхности питательной среды и инкубировали в течение суток, после чего проводили оценку антибактериального действия методом подсчета колониеобразующих единиц (КОЕ). Результаты показали, что значения числа КОЕ бактерий *E. coli* при облучении в присутствии ФМН в концентрациях 0,5; 1; 2,5 и 5 мМ статистически значимо снижались на 45,7; 53,2; 65,4 и 71,8% соответственно ($p<0,05$).

Следующим шагом в данной работе была проверка антибактериального действия ФМН на клинических изолятах, высеянных из инфицированных ран пациентов. Бактериальные штаммы *S. aureus* и *P. aeruginosa* были взяты во время хирургических операций из ран пациентов в РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского. Бактерии высаживались

на твёрдую питательную среду в виде газона и облучались в присутствии ФМН в концентрации 11 мМ светом с длиной волны $\lambda=450$ нм. Далее образцы инкубировались в термостате при 37 °С в течение суток, после чего качественно оценивался антибактериальный эффект по уменьшению роста бактерий в зоне облучения. Исследование показало снижение выживаемости высоковирулентных и антибиотикорезистентных бактерий *S. aureus* и *P. aeruginosa* при облучении в присутствии ФМН дозами 24 Дж/см² и 60 Дж/см² соответственно.

Полученные в ходе данной работы результаты свидетельствуют о перспективности применения ФМН для интраоперационной аФДТ. Синий свет может безопасно использоваться во время хирургической операции, а дозы облучения в условиях эксперимента достигаются в течение нескольких минут.

Работа выполнена в рамках темы госзадания Министерства просвещения РФ № 124031100005-5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anderson D.J. Surgical site infections // Infectious disease clinics of North America. 2011. V. 25, N. 1. P. 135-153.
2. Abrahamse H., Hamblin M.R. New photosensitizers for photodynamic therapy // The Biochemical journal. 2016. V. 473, N. 4. P. 347-364.
3. Wong T.W., Cheng C.W., Hsieh Z.J., Liang J.Y. Effects of blue or violet light on the inactivation of *Staphylococcus aureus* by riboflavin-5'-phosphate photolysis // Journal of photochemistry and photobiology B, Biology. 2017. V. 173. P. 672-680.

RIBOFLAVIN FOR INTRAOPERATIVE ANTIBACTERIAL PHOTODYNAMIC THERAPY

P.P. Shram^{1,2}, R.A. Akasov^{1,2}, I.A. Ryazantsev^{1,2}, T.V. Egorova^{1,2}

¹*Moscow State Pedagogical University, Moscow, Russia;*

(119435, Moscow, Malaya Pirogovskaya St., 29/7c1)

²*Petrovsky National Research Center*

(119991, Moscow, Abrikosovsky lane, 2)

e-mail: p.schram@yandex.ru

This study experimentally confirmed the antibacterial photodynamic activity of flavin mononucleotide under conditions reproducible during surgical procedures. Efficacy was demonstrated both on model *E. coli* bacteria and on clinical isolates of *S. aureus* and *P. aeruginosa* cultured from infected patient wounds.

Keywords: antimicrobial photodynamic therapy, photosensitizer, riboflavin, antibiotic resistance.

СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ

УДК 544.431

**ЭНЕРГИИ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОЕДИНЕНИЙ
ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ В ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ АКРИЛОНИТРИЛА С
МЕТИНОВЫМ РАДИКАЛОМ****Н.М. Азязов¹, Л.И. Крикунова^{1,2}, И.О. Антонов^{1,2}**

¹Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34

²Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (СФ ФИАН)
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)
e-mail: Quasar618@yandex.ru

Энергии и молекулярные параметры соединений задействованных в реакции акрилонитрила (C_2H_3CN) с метиновым радикалом (CH) находились квантово-химическими расчетами на уровне теории функционала плотности wB97xd с базисным набором cc-pvtz. Найдено, что реакция стартует с без барьерных присоединений атома С в радикале СН либо к азоту, либо к тройной связи - $C\equiv N$ с образованием трехчленного цикла. В работе получены геометрии и относительные энергии реагентов, интермедиатов и переходных состояний, а также продуктов в системе C_4H_4N .

Ключевые слова: акрилонитрил, метиновый радикал, квантово-химическое моделирование, ТФП, энергия активации, молекулярные параметры, механизм реакции, циклоприсоединение.

Реакции азотсодержащих органических молекул с метиновым радикалом (CH) протекают в пламенах ископаемых и синтетических топлив [1], а также в различных астрономических объектах [2] и они остаются слабо изученными. В недавних работах [3,4], с использованием квантово-химических расчётных методов были изучены реакции цианоацетилена ($HCCCN$) и метинового радикала, метиламином (CH_3NH_2) и пропионитрилом (CH_3CH_2CN).

В этой работе с помощью расчётов электронной структуры были найдены локальные экстремумы на поверхности потенциальной энергии (ППЭ) реакции акрилонитрила (C_2H_3CN) с метиновым радикалом (CH), а затем на основе этих данных определены каналы продуктов реакции.

Исследование проведено методами квантово-химического моделирования с использованием теории функционала плотности на уровне wB97xd с базисным набором cc-pvtz. Найденные переходные состояния верифицированы путем расчета координаты реакции (IRC). Реакция стартует с без барьерных присоединений атома С в радикале СН либо к азоту, либо к тройной связи - $C\equiv N$ с образованием трехчленного цикла (Рис. 1). Найдены три канала продуктов с высвобождением атома водорода и циклического продукта (сус- C_4H_3N , p_2_1 и p_2_2) с энергиями интермедиатов, переходных состояний и продуктов реакции ниже энергии исходных реагентов (Рис. 1).

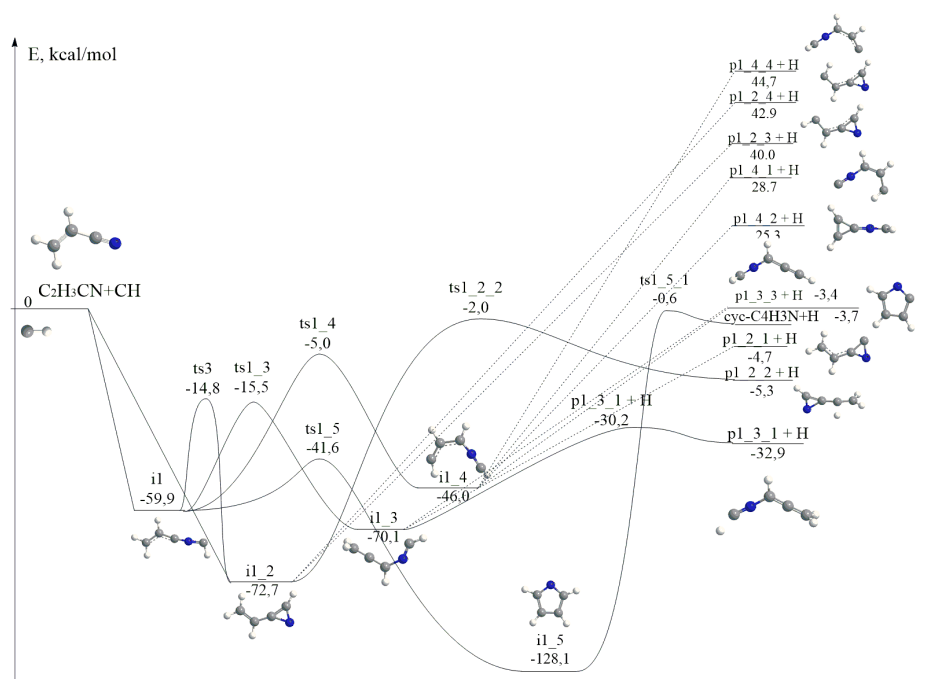


Рис. 1. Реакционные пути на поверхности потенциальной энергии системы $C_2H_3CN + CH$

Работа И.О. Антонова в Самарском университете поддержана Российским научным фондом (грант № 25-69-00068).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hong X. et al. An experimental and theoretical study of pyrrole pyrolysis with tunable synchrotron VUV photoionization and molecular-beam mass spectrometry //The Journal of Physical Chemistry A. – 2009. – Т. 113. – №. 18. – С. 5397-5405.
2. Мурга М. С. Эволюция углеродных частиц от стадии звёзд асимптотической ветви гигантов до планетарных туманностей: наблюдения, эксперименты, теория //Успехи физических наук. – 2024. – Т. 194. – №. 10. – С. 1017-1045.
3. Krikunova L. I. et al. Product Channels of the Reaction of Cyanoacetylene with Methylidyne //Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2025. – Т. 52. – №. Suppl 2. – С. S222-S226.
4. Krikunova L. I. et al. Reaction of propionitrile with methylidyne: A theoretical study //Journal of the Chinese Chemical Society. – 2023. – Т. 70. – №. 3. – С. 439-450.

ENERGIES AND MOLECULAR PARAMETERS OF COMPOUNDS INVOLVED IN THE CHEMICAL REACTION OF ACRYLONITRILE WITH METHYLIDYNE

N.M. Azyazov¹, L.I. Krikunova^{1,2}, I.O. Antonov^{1,2}

¹Samara National Research University, (34, Moskovskoye Shosse, Samara, 443086, Russia)

²Samara Branch of the P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (221, Novo-Sadovaya St., Samara, 443011, Russia) e-mail: Quasar618@yandex.ru

The energies and molecular parameters of the compounds involved in the reaction of acrylonitrile (C_2H_3CN) with the methylidyne radical (CH) were determined using quantum chemical calculations at the wB97xd density functional theory level with the cc-pvtz basis set. It was found that the reaction starts with barrier-free additions of the C atom in the CH radical to either nitrogen or the triple bond - $C\equiv N$, forming a three-membered ring. The geometries and relative energies of the reactants, intermediates and transition states, as well as products in the C_4H_4N system were obtained.

Keywords: acrylonitrile, methyne radical, quantum-chemical modeling, DFT, activation energy, molecular parameters, reaction mechanism, cycloaddition.

ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА С ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

К.А. Александров

*Самарский национальный исследовательский университет
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: alekskira20041219@yandex.ru*

Аннотация. Исследована хаотическая динамика полупроводникового лазера с оптоэлектронной обратной связью. Построена бифуркационная диаграмма, проанализированы различные динамические режимы работы лазера в зависимости от времени задержки в обратной связи. Показано, что при времени задержки более 2.5 нс система переходит в хаотический режим, пригодный для генерации случайных битов.

Ключевые слова: хаотическая динамика, полупроводниковый лазер, обратная связь, бифуркационная диаграмма.

Исследование хаотической динамики лазерных систем представляет значительный интерес для разработки высокоскоростных генераторов случайных чисел. Полупроводниковые лазеры с запаздывающей обратной связью демонстрируют сложное динамическое поведение, включая переход к хаосу через каскад бифуркаций.

Математическая модель описывается системой уравнений [1] для комплексной амплитуды оптического поля E и инверсии населённости N :

$$\frac{dE}{dt} = k(1 + i\alpha)(N - 1)E \quad (1)$$

$$\frac{dN}{dt} = A + \varepsilon|E(t - \tau)|^2 - N - |E|^2 \quad (2)$$

Параметры модели: $k = 500$ – параметр, связанный с скоростью релаксации; $A = 3$ – постоянная составляющая тока накачки; $\alpha = 3$ – альфа-фактор (коэффициент усиления); $\varepsilon = 0.05$ – сила обратной связи; τ – время задержки обратной связи (варьируемый параметр, нс).

Бифуркационная диаграмма на Рисунке 1 представлена в виде графика зависимости множества локальных максимумов интенсивности излучения лазера I_{\max} , зарегистрированных за длительное время моделирования, от времени задержки τ (нс).

На бифуркационной диаграмме идентифицированы три динамических режима: периодический режим ($\tau < 1.2$ нс), квазипериодический режим ($1.2 < \tau < 2.5$ нс) и хаотический режим ($\tau > 2.5$ нс). Хаотический режим характеризуется непрерывным спектром и апериодическими колебаниями, что делает его перспективным для применения в генераторах случайных битов.

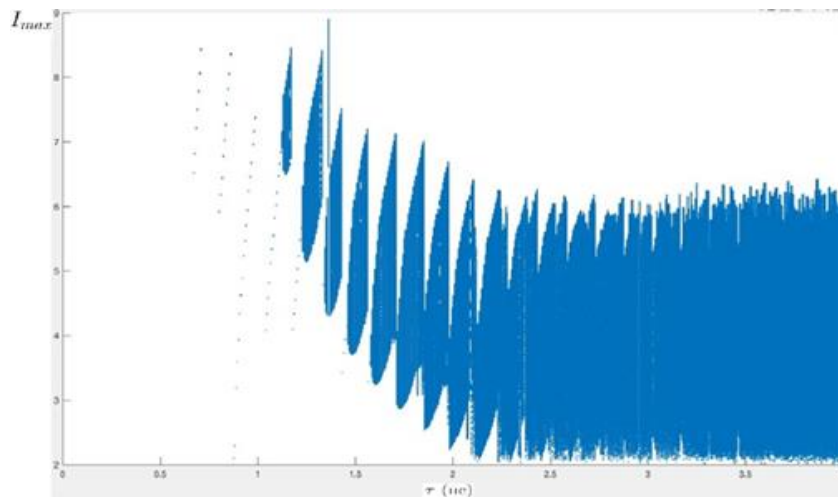


Рис. 1. Бифуркационная диаграмма лазера с обратной связью

Показано, что полупроводниковый лазер с оптоэлектронной обратной связью демонстрирует различные динамические режимы в зависимости от времени задержки. Установлено, что при $\tau > 2.5$ нс система переходит в хаотический режим, который может быть использован для генерации случайных битов со скоростью до 160 Гбит/с.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственные задания № FSSS-2023-0009 и № FFMR-2024-0017).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Theory of quasiperiodicity in model of lasers with delayed optoelectronic feedback, Optics Communications, 1999, vol. 165, pp. 279-292.

CHAOTIC DYNAMICS OF A SEMICONDUCTOR LASER WITH DELAYED FEEDBACK

K.A. Alexandrov¹

¹Samara National Research University,
(443086, Samara, Moskovskoye shosse, 34)

e-mail: alekskira20041219@yandex.ru

Abstract. The chaotic dynamics of a semiconductor laser with optoelectronic feedback is investigated. A bifurcation diagram is constructed, various dynamic regimes of laser operation are analyzed depending on the feedback delay time. It is shown that at delay times greater than 2.5 ns, the system transitions to a chaotic regime suitable for random bit generation.

Keywords: chaotic dynamics, semiconductor laser, feedback, bifurcation diagram, random bit generation.

ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ КАРБИДА КРЕМНИЯ НА СВЧ

И.А. Арендаренко, А.В. Щербак

Самарский национальный исследовательский университет,

(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: ggaliaf20041@gmail.com

Рассмотрены гальваномагнитные эффекты в тонких пленках карбида кремния, полученных методом эндотаксии, на кремниевых подложках. На основе полученных структур изготовлены образцы для исследования гальваномагнитных эффектов на СВЧ.

Ключевые слова: гальваномагнитные эффекты, карбид кремния, эндотаксия, СВЧ.

В последние годы наблюдается интенсивное развитие технологий получения пленочных структур карбида кремния. Одним из перспективных направлений использования структур на основе карбида кремния является разработка мощных приборов СВЧ электроники. Для изучения полупроводниковых материалов и структур традиционно используются гальваномагнитные эффекты, которые возникают при совместном воздействии электрического и магнитного полей. В связи с этим изучение гальваномагнитных эффектов в структурах карбид кремния на кремнии в области сверхвысоких частот является актуальным [1-6].

Целью данной работы является изучение гальваномагнитных эффектов в тонких пленках карбида кремния на СВЧ. В данной работе исследовались образцы структур карбид кремния на кремнии, полученные методом эндотаксии в проточном реакторе с охлаждаемыми стенками. Слои карбида кремния были выращены на кремниевых подложках размером 25х25 мм. Выращенные слои карбида кремния имели зеркальную поверхность. Толщина получаемых слоев SiC находилась в пределах от 3,5 до 4,0 мкм.

Для исследования гальваномагнитных эффектов и определения электрофизических параметров полученных слоев карбида кремния изготовлены образцы датчиков Холла и магниторезисторов СВЧ диапазона. Измерены коэффициенты стоячей волны напряжения полученных образцов на частоте 10 ГГц. Коэффициенты отражения для всех образцов не превышают 1.38, что позволяет провести исследование эффекта Холла и магниторезистивного эффекта на частоте 10 ГГц.

С помощью полученных образцов планируется проведение эксперимента по изучению температурной зависимости эффекта Холла и магниторезистивного эффекта в слоях карбида на кремниевых подложках в области сверхвысоких частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин А.В. Гальваномагнитные и оптические методы исследования полупроводниковых наноструктур // Электронное учебно-методическое пособие. 2012. с. 8-24.

2. Т.В. Свистова Методы исследования материалов и структур электроники// ФГБОУ ВПО Воронежский государственный технический университет, 2013, с161-185
3. Голубятников В. А. Григорьев Ф. И. Лысенко А. П. Установка для измерения гальваномагнитных параметров полупроводниковых материалов путем поворота образца в поле постоянного магнита // Заводская лаборатория 2015 год с.10-136
4. Университет ННГУ, Гальваномагнитные свойства ферромагнитных наноструктур // Новые многофункциональные материалы и нанотехнологии, ННГУ, 2010, с.6-28
5. ХСЭ, Метод исследования гальваномагнитных свойств// Известия вузов. электроника Том 20 № 6 2015, с.576-578

GALVANOMAGNETIC EFFECTS IN THIN FILMS OF SILICON CARBIDE ON MICROWAVE

I.A. Arendarenko, A.V. Shcherbak.

*Samara National Research University,
(34 Moskovskoe Shosse str., Samara, 443086)
e-mail: ggaliaf20041@gmail.com*

Galvanomagnetic effects in silicon carbide thin films obtained by endotaxy on silicon substrates are considered. Based on the obtained structures, samples were made for the study of galvanomagnetic effects on microwave.

Keywords: galvanomagnetic effects, silicon carbide, endotaxy, microwave.

СВОЙСТВА БИОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОКОМПОЗИТА ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ + ГИДРОКСИАПАТИТ

М.А. Асташов¹, С.А. Нефедов¹

¹Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: m4st4shovx@gmail.com

Цель работы заключается в определении возможности изготовления биоматериала на основе пористого кремния для остеопластики. Приведены исследования структуры и состава образцов нанокompозита ПК+ГАП.

Ключевые слова: пористый кремний, гидроксиапатит, остеопластика, лазерная абляция, второй порядок пористого слоя.

Биоматериалы – искусственные материалы, созданные для замены или улучшения работы определенных участков организма. Они должны удовлетворять ряду свойств: биосовместимость и, в ряде случаев, биodeградируемость. Одним из самых доступных и подходящих материалов для целей остеопластики рассматривается кремний, а именно пористый кремний (ПК). На его основе возможно создание композита с гидроксиапатитом (ГАП) – основой костной ткани человеческого организма.

Для образования пористого слоя на пластинах монокристаллического кремния КДФ с электронной проводимостью был применен метод электрохимического травления в растворе $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ [1, 2]. Время травления 5, 15, 25 минут. Плотность тока составляла 10 мА/см². По данным растровой электронной микроскопии (РЭМ) на аппарате «Tescan Vega SB» толщина пористого слоя составила 10-12 мкм, пористость составила 24- 36%, на образцах после 25 минутного травления поры были выявлены внутри структуры с признаками упорядочения.

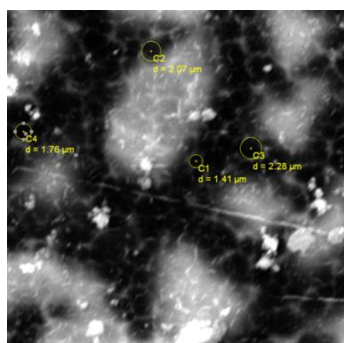


Рис. 1. Второй порядок пористого слоя

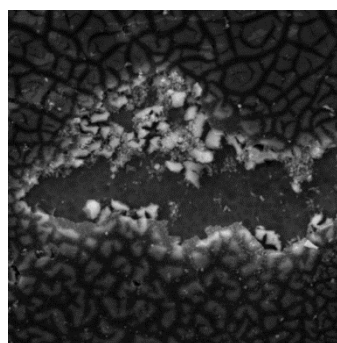


Рис. 2. Разрушение пористого слоя

Это позволило предположить, формирование «второго порядка пористого слоя» (рис. 1). Время травления, равное 25 минут, вероятно, является предельным, т.к. выявлены участки, на которых пористый кремний отслоился, обнажив монокристаллический кремний со следами травления (рис. 2).

Насыщение образцов гидроксиапатитом происходило из его водной суспензии. Наличие гидроксиапатита в порах кремния было установлено в РЭМ по анализу характеристических рентгеновских линий Са и Р.

Выполненная методом лазерной абляции [3] водная суспензия ПК+ГАП, была нанесена на предметные стекла и подверглась сушке. Установлено снижение концентрация ПК+ГАП со временем (рис. 3-4).

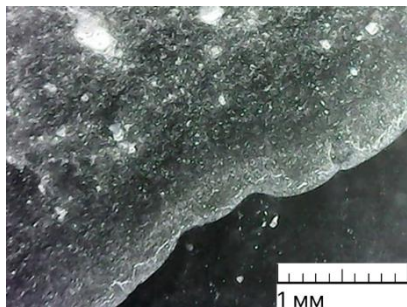


Рис. 3. Осадок, полученный сразу после создания суспензии

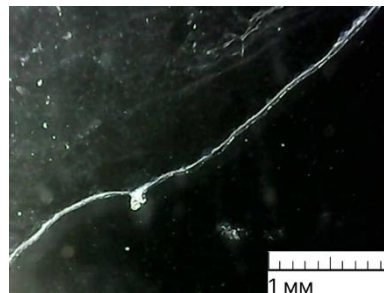


Рис. 4. Осадок, полученный через неделю после создания суспензии

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суюндукова Д.Р. Физико-химические свойства биоматериала для остеопластики на основе пористого кремния. Самара: Самарский университет, 2018.
2. Ксенофонтова О.И., Васин А.В., Егоров В.В., и др. Пористый кремний и его применение в биологии и медицине // Журнал технической физики. 2014. Т. 84, № 1. С. 67–78. EDN: RYJATZ
3. Смирнов Н.А., Кудряшов С.И., Данилов П.А., и др. Одноимпульсная абляция кремния ультракороткими лазерными импульсами варьированной длительности в воздухе и воде // Письма в ЖЭТФ. 2018. Т. 108, № 6. С. 393–398. DOI: 10.1134/S0370274X18180054

PROPERTIES OF BIOMATERIALS BASED ON NANOCOMPOSITE POROUS SILICON + HYDROXYAPATITE

M.A. Astashov¹, S.A. Nefedov¹,

¹*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

e-mail: m4st4shovx@gmail.com

The aim of the work is to determine the possibility of manufacturing a biomaterial based on porous silicon for osteoplasty. Studies of the structure and composition of samples of PC+GAP nanocomposite are presented.

Keywords: porous silicon, hydroxyapatite, osteoplasty, laser ablation, second order of the porous layer.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ

Д.С. Бузаль¹, А.В. Щербак¹

¹ Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: dmitrijbuzal@yandex.ru

В данной работе представлены результаты исследования фотоэлектрических параметров структур с пористым слоем карбида кремния.

Ключевые слова: фотоэлектрические преобразователи, карбид кремния, пористый кремний.

Применение наноструктурированных материалов, таких как пористый кремний и пористый карбид кремния, открывает перспективы для повышения эффективности фотоэлектрических преобразователей. Фотоэлектрические преобразователи на основе пористого карбида кремния могут обладать более высокой энергетической эффективностью, что делает их привлекательными для использования в солнечных батареях, также они могут быть перспективными для работы в экстремальных условиях [1].

В данной работе исследовалось влияние карбидизации пористого слоя кремния на фотоэлектрические свойства структур.

В работе были измерены вольтамперные характеристики образца с ПК и образца с карбидизацией пористого слоя. Измерения проводились при различных температурах: от комнатной и до 120 °С. Для обоих образцов ток с возрастанием температуры увеличивался. Ток образца с пористым слоем при максимальной температуре увеличился в 4,5 раза от изначальных значений, в случае образца с карбидизацией пористого слоя ток возрос на 50% от начальных значений. Можно сделать вывод что карбидизация пористого слоя делает образец менее восприимчивым к увеличению температуры.

Также для обоих образцов были измерены световые ВАХ, по которым был рассчитан коэффициент заполнения FF образцов. Коэффициент заполнения определялся как отношение максимальной мощности, которую выдает ФЭП к произведению тока короткого замыкания и напряжения холостого хода и выражался в процентах. Максимальная мощность, которую выдаёт ФЭП графически представляется как максимальная площадь прямоугольника, который можно вписать в кривую ВАХ. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов коэффициента заполнения

Образец	$I_{кз}$, мА	$U_{хх}$, В	I_{mp} , мА	U_{mp} , В	P_{max} , мВт	FF, %
N1 (ПК)	2,1	2,3	1,60	1,43	2,29	47,41
N2 (ПК+SiC)	4,8	3,6	3,55	2,28	8,09	46,81

На рисунке 1 представлена спектральная характеристика для образца с карбидизацией пористого слоя. На графике представлена зависимость фотоэдс от длины

волны излучения. Из данного графика можно сделать вывод, что максимум спектральной чувствительности достигается на длине волны в районе 550 нм. Данная длина волны соответствует энергии в 2,25 эВ, что соответствует кубическому карбиду кремния, так как его ширина запрещенной зоны равна 2,36 эВ [2].

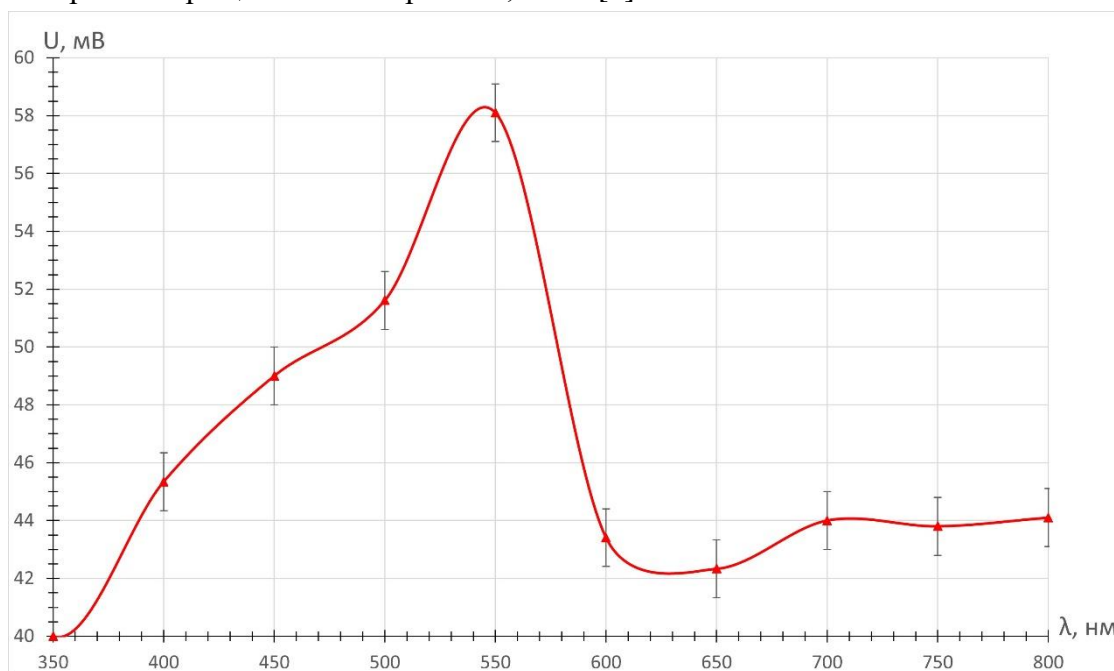


Рис. 1. Спектральная зависимость фотоздс образца с карбидизацией пористого слоя

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г.П. Яровой, Н.В. Латухина, А.С. Рогожин, А.С. Гуртов, С.В. Ивков, С.И. Миненко, Кремниевые фотопреобразователи для космической и авиационной отрасли. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2012, т.14, № 1-2, с. 521-524.
2. А.В. Евишев, С.В. Ивенин, Определение ширины запрещенной зоны в карбиде кремния оптическим методом. // Огарев – Online, 2014, № 22, с. 1-8.

PHOTOVOLTAIC CELLS BASED ON POROUS SILICON CARBIDE

D.S. Buzal¹, A.V. Shcherbak¹

¹Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: dmitrijbuzal@yandex.ru

This paper presents the results of a study of the photovoltaic parameters of structures with a porous silicon carbide layer.

Keywords: photovoltaic cells, silicon carbide, porous silicon.

ПАРАМЕТРЫ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛУПРОВОДНИК-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПЛЕНКА ФТОРИДА РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ЗАТВОРНЫХ СТРУКТУР В МДП-УСТРОЙСТВАХ

И.Д. Веретенникова

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева
(443086, г. Самара, ул. Академика Павлова, 1)
e-mail: ira.veretennikova.04@mail.ru*

Исследована граница раздела тонких плёнок соединений трифторидов редкоземельных элементов (CeF_3 , GdF_3 , DyF_3 , NdF_3) с полупроводниковыми подложками Si и Ge. Из вольт-ёмкостных характеристик, проведена оценка: эффективного заряда, напряжения плоских зон, тангенса угла диэлектрических потерь и плотности поверхностных состояний на границе раздела трифторид редкоземельного элемента-полупроводник.

Ключевые сова: плотность поверхностных состояний, напряжение плоских зон, проводимость, МДП-структуры.

Дальнейший прогресс в увеличении быстродействия и плотности компоновки интегральных схем упирается в физические ограничения традиционных материалов. Использование диоксида кремния (SiO_2) в качестве подзатворного диэлектрика в МДП-структурах стало невозможным из-за неприемлемо высоких токов утечки при субнанометровых толщинах. Решением является внедрение диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью (high- κ), которые позволяют обеспечить высокую емкость затвора при большей физической толщине, эффективно подавляя туннелирование носителей заряда.

Ключевая роль границы раздела полупроводник-диэлектрик. Внедрение любого нового high- κ материала — это не только решение проблемы утечек, но и вызов, связанный с формированием высококачественной границы раздела с полупроводником. Именно параметры этой границы в решающей степени определяют эксплуатационные характеристики МДП-структур: эффективный заряд, напряжение плоских зон, тангенс диэлектрических потерь и плотность заряда на границе раздела.

Из высокочастотных C - U характеристик, измеренных при комнатной температуре, рассчитывались эффективный заряд и плотность поверхностных состояний.

Поверхностная плотность захваченного эффективного заряда концентрации N_f в пленке трифторида РЗЭ определялась по формуле:

$$Q_f = eN_f = \Delta V_{FB} C_D, \quad (1)$$

где C_D — удельная емкость диэлектрика, e — элементарный заряд, ΔV_{FB} — изменение напряжения плоских зон.

Из зависимости поверхностного потенциала ϕ_s от напряжения U можно рассчитать распределение плотности поверхностных состояний D_{it} в запрещенной зоне диэлектрика:

$$D_{it} = \frac{C_D}{e^2} \left(\frac{dU}{d\phi_s} - 1 \right) + \frac{C_s}{e^2}, \quad (2)$$

где C_s — удельная емкость области пространственного заряда кремния или германия.

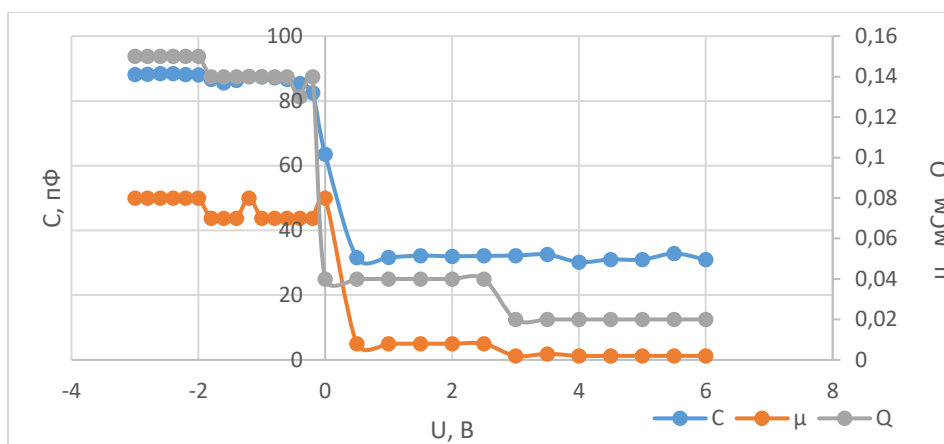


Рис.1. Вольт-ёмкостные характеристики $\text{GdF}_3\text{-pSi}$, проводимости и тангенса угла диэлектрических потерь от напряжения для толщины диэлектрика $d=0,17$ мкм

В ходе работы были измерены и построены вольт-ёмкостные характеристики, посчитаны для $\text{GdF}_3\text{-nSi}$: значительный отрицательный заряд $-7.32 \times 10^{15} \text{ м}^{-2}$, умеренная плотность состояний $2.24 \times 10^{16} \text{ эВ}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$, напряжение плоских зон ($-0,03 \text{ В}$), плотность заряда $6,12 \times 10^{15} \text{ эВ}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ на границе раздела трифторид редкоземельного элемента - полупроводник.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sobolev B.P. *The Rare Earth Trifluorides. Part 1. The High Temperature Chemistry of the Rare Earth Trifluorides*. Institute of Crystallography, Moscow, and Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, Spain, 2000. 520 p.
www.books.google.ru/books/rare_earth_trifluorides
2. Соболев Б.П., Ипполитов Е.Г., Жигарновский Б.М., Гарашина Л.С. // Изв. АН СССР. Неорганич. материалы. 1965. Т. 1. № 3. С. 362–370.

PARAMETERS OF THE SEMICONDUCTOR-DIELECTRIC INTERFACE OF A RARE-EARTH FLUORIDE FILM FOR GATE STRUCTURES IN METAL-INSULATOR SEMICONDUCTOR DEVICES

I.D. Veretennikova

*Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev
(1 Akademika Pavlova St., Samara, 443086)
e-mail: ira.veretennikova.04@mail.ru*

The interface of thin films of rare-earth trifluorides (CeF_3 , GdF_3 , DyF_3 , NdF_3) with Si and Ge semiconductor substrates was studied. The effective charge, flat-band voltage, dielectric loss tangent, and density of surface states at the rare-earth trifluoride-semiconductor interface were estimated from the capacitance-voltage characteristics.

Key words: quality factor, capacitance, voltage, conductivity, MOS-structures.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПЕРЕОБУЧЕНИЯ PLS-DA И PCA-LDA КЛАССИФИКАЦИИ РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОВ КОЖИ, ОБУЧЕННЫХ НА МАЛОЙ ВЫБОРКЕ ДАННЫХ

Д.В. Власова¹, И.А. Братченко¹

¹*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: daravlasova5000@gmail.com*

Рамановская спектроскопия представляет собой перспективный метод неинвазивной диагностики рака кожи. Однако применение машинного обучения для анализа спектров часто сталкивается с проблемой переобучения моделей. В исследовании предложена методика создания устойчивых классификаторов PLS-DA и PCA-LDA, обученных на малой выборке спектров, которые дифференцируют два вида рака кожи. Методика включает подсчет нескольких критериев, изложенных в работе. Исследование показало, что даже на малой выборке данных можно обучить устойчивые и надежно предсказывающие классификаторы.

Ключевые слова: PLS-DA, PCA-LDA, главные компоненты, рамановская спектроскопия, переобучение моделей машинного обучения, счета, нагрузки, кросс-валидация.

Рак кожи на ранних стадиях излечим, однако его почти невозможно отличить от неракового образования. Визуальный осмотр не гарантирует достоверный результат. Прогрессивным методом диагностики является оптическая биопсия на основе рамановской спектроскопии, однако сложность рамановского спектра и методов машинного обучения часто приводят к переобучению разрабатываемых моделей. Целью данной работы являлось предложить устойчивые классификаторы, обученные на маленькой выборке из сорока спектров. В настоящей статье описаны подходы к обучению бинарного классификатора на малой выборке данных с помощью двух разных моделей и борьбы с его переобучением.

Спектры для анализа были взяты из работы [1].

Для классификации двух видов рака по рамановским спектрам были обучены PLS-DA и PCA-LDA модели [2]. Для правильного обучения необходимо подобрать правильное число главных компонент, чтобы избежать переобучения модели. Для этого необходимо рассмотреть несколько критериев, а именно: подсчет точности, подсчет корня из СКО и визуализировать счета и нагрузки. Две модели обучались отдельно и для каждой из них считались эти критерии для понимания того, какое число компонент оптимально для каждой модели. Сырые спектры подверглись предобработке для выявления из них рамановских. На них и обучались модели. Количество скрытых переменных для каждой модели считалось с помощью критериев, описанных выше. На рисунке 1 представлен один из этих критериев, а именно: зависимость точности обучения от количества главных компонент. На основе критериев был сделан вывод о том, что оптимальным количеством главных компонент для модели PLS-DA является одна главная компонента, а для модели PCA-LDA - две.

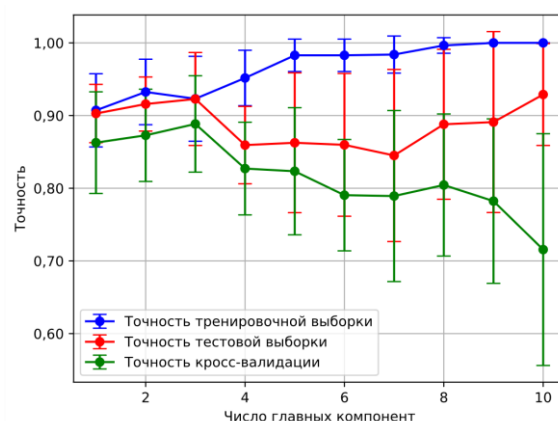


Рис. 1. PLS-DA – Средняя зависимость точности от количества главных компонент с ККО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Y. A. Khristoforova, I.A. Bratchenko, O.O. Myakinin, D. Artemyev, Portable spectroscopic system for in vivo skin neoplasms diagnostics by Raman and autofluorescence analysis. // Journal of Biophotonics., 2018, v. 12, p. 1-11.
3. S. Wold, A. Ruhe, H. Wold, W.J. Dunn III, The collinearity problem in linear regression, The partial least squares approach to generalized inverses. // SIAM J. Sci. Stat. Comput., 1984, p. 735–743.

PREVENTING OVERFITTING OF PLS-DA AND PCA-LDA MODELS FOR CLASSIFICATION OF RAMAN SPECTRA OF SKIN CANCER, TRAINED ON A SMALL DATA SAMPLE

D.V. Vlasova¹, I.A Bratchenko¹

¹*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: daravlasova5000@gmail.com*

Raman spectroscopy is a promising method for non-invasive diagnosis of skin cancer. However, the use of machine learning for spectrum analysis often faces the problem of model overfitting. This study proposes a method for creating robust PLS-DA and PCA-LDA classifiers trained on a small sample of spectra that differentiate between two types of skin cancer. The method involves calculating several criteria described in the paper. The study showed that it is possible to train stable and reliable predictive classifiers even on a small data sample.

Keywords: Part Least Squares Discriminant Analysis, Principal Component Analysis Linear Discriminant Analysis, principal components, raman spectroscopy.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ШЛИФОВКИ И ПОЛИРОВКИ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.А. Горюшкин, К.Д. Чернявский

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: aleksgod141125@gmail.com*

Аннотация. Проведено исследование методов финишной абразивной обработки оптических элементов, изготовленных с применением аддитивных технологий. Разработана и модернизирована установка для шлифовки и полировки зеркал из фотополимерных материалов. Изучен процесс формирования отражающей поверхности при последовательной обработке различными абразивами.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, фотополимер, шлифовка, полировка, карбид кремния, оптическая поверхность.

Современные аддитивные технологии позволяют изготавливать заготовки оптических элементов, включая зеркала различного радиуса кривизны и диаметра [1]. Однако качество поверхности таких изделий после печати нельзя считать удовлетворительным: из-за особенностей послойного формирования поверхность требует обязательной обработки. Целью работы являлось освоение доступных методов шлифовки и полировки для получения зеркальных поверхностей из фотополимерных материалов.

В ходе исследования была модернизирована конструкция настольного шлифовально-полировального станка, собранного с использованием 3D-печатных компонентов [2]. Обработка материала осуществляется по сложной пространственной траектории, обеспечивающей равномерное давление в зоне контакта. Разработанные крепёжные системы позволили устранить биение заготовки при вращении и обеспечить стабильность прижатия. Для контроля нагрузки введены регулируемые утяжелители, позволяющие точно подбирать прижимное усилие.

Последовательность обработки включала несколько этапов. На начальных стадиях применялись шлифовальные шкурки различной зернистости (P60, P120, P240, P360, P600, P800, P1200, P2000, P5000, P10000) с промежуточным использованием паст ГОИ №1–4. Данный метод позволил постепенно сгладить неровности, однако выявился его существенный недостаток — из-за неплотного прилегания шкурки к изогнутой поверхности зеркала съём материала происходил неравномерно.

Когда стало ясно, что шкурки не обеспечивают идеального прилегания, был разработан новый подход. На шлифовальный блок наносился тонкий слой карбида кремния (SiC), смешанный с эпоксидной смолой, имеющий тот же радиус кривизны, что и обрабатываемое зеркало. Такая композитная поверхность обеспечивает равномерное

прилегание по всей площади контакта и высокую стабильность процесса. Данный метод стал ключевым в технологии обработки оптических элементов.

Завершающим этапом обработки служила полировка суспензией оксидом церия, разведённого в воде [3]. Этот метод позволил удалить микроскопические дефекты и придать поверхности равномерный зеркальный блеск. Несмотря на необходимость поддержания влажности и постепенное вымывание абразива, данный способ стал заключающим этапом цикла обработки.

Качество поверхности контролировалось при помощи оптического микроскопа. На рисунке 1 приведён фрагмент зеркала до начала обработки; на втором изображении показан результат после полировки. Наблюдается формирование ровной структуры, подтверждающего успешную обработку поверхности.



Рис. 1. Поверхность зеркала до обработки

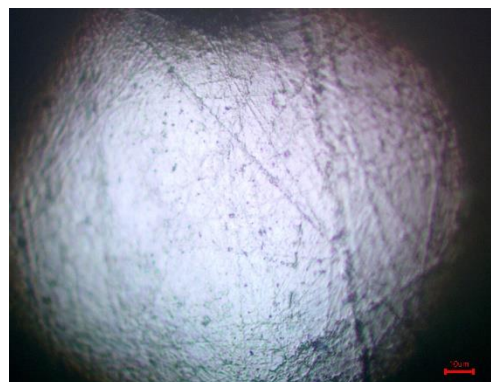


Рис. 2. Поверхность после обработки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3D Printed Lens and Other Transparent Objects / Prusa Research. URL: https://blog.prusa3d.com/3d-printed-lens-and-other-transparent-objects_31231/
2. How to Create 3D-Printed Optical Lenses with a 3D-Printed Lens Grinding Machine / Fraens Engineering. URL: <https://fraensengineering.com/how-to-create-3d-printed-optical-lenses-with-a-3d-printed-lens-grinding-machine/>
3. Grinding and Polishing 3D Printed Lenses – YouTube Video. URL: <https://youtu.be/r6fRT0FHgcc?si=OH22hjZHugEO6PvQ>

RESEARCH OF GRINDING AND POLISHING METHODS FOR OPTICAL ELEMENTS MANUFACTURED BY ADDITIVE TECHNOLOGIES

A.A. Goryushkin, K.D. Chernyavskiy

*Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev
(443086, Samara, Moskovskoye shosse, 34)
e-mail: aleksgod141125@gmail.com*

Abstract. The work investigates grinding and polishing methods for photopolymer optical elements fabricated using additive technologies. A compact polishing machine was upgraded, and the surface formation during multistage abrasive processing was studied.

Keywords: additive technologies, 3D printing, photopolymer, grinding, polishing, silicon carbide, optical surface.

ВРМБ КОМПРЕССИЯ УФ ИМПУЛЬСОВ KrF ЛАЗЕРА В ГАЗОВОЙ И ЖИДКОЙ ФАЗАХ SF₆

И.Ю. Еремеев^{1,2}, П.В. Велиев^{1,2}, Г.Н. Лелявский^{1,2}, В.Д. Зворыкин¹,
Н.Н. Устиновский¹

¹Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН
(119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53)

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
(115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31)
e-mail: i.eremeev@lebedev.ru

Исследована ВРМБ-компрессия 20-нс импульсов KrF лазера (100 мДж, ширина спектра ~ 0.2 см⁻¹) с обращением волнового фронта в газообразном и жидком SF₆ при давлении 20 атм и комнатной температуре. В жидком SF₆ длительность отраженных импульсов сокращалась до 5 нс и не зависела от энергии накачки. В газе длительность отраженных импульсов увеличивалась от 5 нс (вблизи порога ВРМБ) до 20 нс при максимальной энергии накачки. Эффективность отражения по энергии составляла 20% в жидкости и до 60% в газе.

Ключевые слова: ВРМБ-компрессия, ОВФ, нелинейная оптика.

KrF лазеры обладают коротким временем жизни верхнего лазерного уровня $\tau_c \approx 2$ нс и, соответственно, быстрым возобновления усиления в активной среде после прохождения предыдущего импульса, что позволяет эффективно усиливать цуги коротких импульсов с длительностью $\tau_{sh} \leq \tau_c$, и одновременно – длинные импульсы с $\tau_{long} \geq \tau_c$, причем длительность последних ограничивается длительностью накачки. В результате можно формировать импульсы сложной временной формы: с резким обострением мощности к концу импульса – для лазерного термоядерного синтеза [1], или амплитудно-модулированные импульсы, предназначенные для создания протяженных слабоионизованных каналов в атмосферном воздухе.

В данной работе в продолжение экспериментов [2] для укорочения 20-нс импульсов электроразрядного KrF лазера (Lambda Physik EMG 150 TMSC) использовалась временная компрессия излучения при обратном вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) в гексофториде серы (SF₆) в состоянии насыщенного пара. Экспериментальная схема приведена на рисунке 1.

Двухфазная смесь газообразного и жидкого SF₆ была помещена в предварительно откачанную стальную ячейку с внутренним диаметром 30 мм и длиной 20 см, закрытой с двух сторон толстостенными клиновидными кварцевыми окошками. При этом жидкая фаза SF₆ занимала $\sim 2/5$ объема ячейки, остальную часть объема занимали насыщенные пары гексафторида серы. В экспериментальной схеме ячейка была расположена вертикально. Чтобы избежать попадания отраженного с обращенным волновым фронтом излучения обратно в активную среду лазера использовались поляризатор (П1 на схеме) и фазовая четвертьволновая пластинка (ФП1).

Энергия падающего и отраженного импульсов измерялась при помощи двух пирозлектрических калориметров Ophir PESO-SH-V2 (K1 и K2 на схеме). Временные профили падающего, отраженного и прошедшего через ячейку импульсов (ФД1, ФД2 и ФД3 соответственно) измерялись при помощи трёх фотодиодов Thorlabs DET10A, излучение на которые заводилось через рассеивающие пластины (РП1, РП2, РП3).

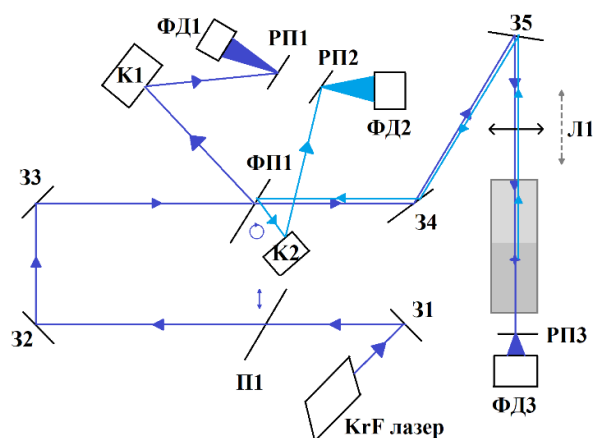


Рис. 1. Экспериментальная схема

Для получения высокой интенсивности, необходимой для эффективного вынужденного рассеяния излучение лазера фокусировалось короткофокусной ($F=25$ см) линзой, которая была закреплена на подвижной рельсе, что позволило изменять положение фокуса линзы относительно границы раздела сред в ячейке. Исследовалась динамика изменения параметров отраженного излучения (длительность и коэффициент отражения) для разных положений фокуса линзы относительно границы раздела сред. При максимальной энергии накачки (40–45 мДж без учета поглощения SF_6) коэффициент отражения уменьшался от $\sim 60\%$ в газе до $\sim 20\%$ в жидкости, при этом длительность (FWHM) отраженного импульса изменялась таким же образом от отсутствия сокращения в газе до 5–7 нс в жидкости. При этом импульсы состояли из короткого интенсивного пика и длинного и менее интенсивного плоского хвоста. Дополнительные эксперименты показали, что жидкий SF_6 имеет высокий коэффициент линейного поглощения $\alpha \approx 0,09$ см^{-1} , поэтому происходит нагрев жидкости с последующим фазовым переходом, что приводит к обрыву отраженного импульса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Betti, C. D. Zhou, K. S. Anderson, L. J. Perkins, W. Theobald, A. A. Solodov, Shock Ignition of Thermonuclear Fuel with High Areal Density // *Phys. Rev. Lett.* 98, 155001, 2007
2. V. Zvorykin, G. Metreveli, I. Smetanin, A. Shutov, N. Ustinovskii, P. Veliev, Nonlinear scattering of the 248-nm wavelength light in high-pressure SF_6 and CH_4 gases for a temporal compression of 20-ns KrF laser pulse // *Photonics* 2024, 11(1), 39.

SBS COMPRESSION OF KRF LASER UV PULSES IN THE GAS AND LIQUID PHASES OF SF_6

I.Y. Ereemeev^{1,2}, P.V. Veliev^{1,2}, G.N. Lelyavskiy^{1,2}, V. D. Zvorykin¹, N.N. Ustinovskii¹

¹*P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (Leninsky Prospekt, 53, GSP-1 Moscow, Russia, 119991), ²National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), (Kashirskoye Shosse, 31, Moscow, Russia, 115409)*

e-mail: i.eremeev@lebedev.ru

SBS compression of 20-ns KrF laser pulses (100 mJ, spectrum width ~ 0.2 cm^{-1}) with wavefront reversal in gaseous and liquid SF_6 at a pressure of 20 atm and room temperature was studied. In liquid SF_6 , the duration of the reflected pulses was reduced to 5 ns and did not depend on the pump energy. In the gas, the duration of the reflected pulses increased from 5 ns (near the SBS threshold) to 20 ns at maximum pump energy. The energy reflection efficiency was 20% in the liquid and up to 60% in the gas.

Keywords: SBS-compression, wave front reversal, nonlinear optics.

ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТОПЛАСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В СОСТАРЕННОМ АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ Al-Li ОТ ФОРМЫ СИГНАЛА ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Ю.В. Осинская, С.Г. Магамедова, М.А. Еремеева

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: oju76@mail.ru*

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования воздействия импульсного магнитного поля на микротвердость алюминиевого сплава Al-Li, подвергнутого искусственному старению. Обнаружено проявление положительного магнитопластического эффекта, величина которого достигает 37 % и зависит от формы сигнала импульсного магнитного поля.

Ключевые слова: старение, импульсное магнитное поле, магнитопластический эффект, алюминиевый сплав.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования влияния импульсного магнитного поля амплитудой напряженности 557.2 кА/м и частотой 2 Гц на микротвердость алюминиевого сплава Al-Li, подвергнутого старению при температуре 120 °С длительностью от 2 до 8 ч. Использовались импульсные магнитные поля с синусоидальной и прямоугольной (меандр) формами сигнала. Предварительно перед старением образцы подвергались закалке: выдержка в печи в атмосфере воздуха при 500 °С в течение 1 ч с последующим быстрым охлаждением в воде при 20 °С.

Для определения микротвердости по методу Виккерса применялся микротвердомер HAUSER с нагрузкой 100 г. Каждое значение микротвердости получено путем усреднения по 30 измерениям, при этом относительная ошибка среднего значения не превышала 2–3 %.

В закаленном состоянии микротвердость алюминиевого сплава Al-Li составила 813 МПа. Старение без воздействия магнитного поля приводит к увеличению микротвердости до 1107 МПа. Данный эффект может быть объяснен выделением упрочняющих фаз, в частности, Al_3Li , в процессе старения. Эти фазы, являясь стопорами для движения дислокаций, препятствуют их перемещению, что, в свою очередь, способствует увеличению прочностных характеристик сплава [1].

Воздействие импульсного магнитного поля на процесс старения сплава приводило к уменьшению микротвердости, причем эффект зависел от формы сигнала: для синусоидального сигнала снижение составило до 37 %, а для прямоугольного – до 3 %, что указывает на зависимость эффекта от формы сигнала. Наблюдаемый эффект можно интерпретировать как положительный магнитопластический эффект [2-3]. Уменьшение микротвердости при старении в импульсном магнитном поле можно связать с

формированием более однородной и менее дефектной структуры сплава. В результате дислокации встречают меньше препятствий (таких как фазы, границы зерен и т.д.), что повышает пластичность сплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

4. Л.Ф. Мондольфо, Структура и свойства алюминиевых сплавов. // М.: Изд-во иностр. лит., 1962, 238 с.
5. В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, М.В. Колдаева, Е.А. Петржик, Магнитопластический эффект: основные свойства и физические механизмы. // Кристаллография, 2003, Т. 48, № 5, С. 838-867.
6. Р.Б. Моргунов, Р.А. Валеев, А.А. Скворцов, Д.В. Королев, В.П. Пискорский, Е.И. Куницыны, В.В. Кучеряев, О.В. Коплак, Магнитопластический и магнитомеханический эффекты в алюминиевых сплавах с магнитострикционными микровключениями. // Труды ВИАМ, 2019, № 10 (82), с. 3-13.

DEPENDENCE OF THE MAGNETOPLASTIC EFFECT IN AGED ALUMINUM ALLOY Al-Li ON THE WAVEFORM OF A PULSED MAGNETIC FIELD

J.V. Osinskaya, S.G. Magamedova, M.A. Ereemeeva

*Samara University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: oju76@mail.ru*

This paper presents the results of an experimental study of the effect of a pulsed magnetic field on the microhardness of an Al-Li aluminum alloy subjected to artificial aging. A positive magnetoplastic effect has been detected, the magnitude of which reaches 37% and depends on the shape of the pulsed magnetic field signal.

Keywords: aging, pulsed magnetic field, magnetoplastic effect, aluminum alloy.

МЕХАНИЗМЫ ПРОТЕКАНИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ В МДП-СТРУКТУРАХ С ТОНКОПЛЕНОЧНЫМИ ДИЭЛЕКТРИКАМИ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р. А. Калитов

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева (443086, г. Самара, ул. Академика Павлова, 1)
e-mail: romankalitov63@gmail.com*

Проведено детальное исследование токов утечки в МДП-структурах Al-SmF₃-nSi и Al-YF₃-nSi в широком диапазоне напряжений. Анализ Механизмов проводимости включал туннелирование Фаулера-Нордгейма, эмиссию Шоттки, эффект Пула-Френкеля и механизм ограничения тока пространственным зарядом. Измерения проводились в диапазоне напряжений ± 50 В, при комнатной температуре. Для каждого механизма построены вольтамперные характеристики в соответствующих координатах, что позволило определить зависимости токов утечки от приложенного напряжения.

Ключевые слова: плотность тока утечки, туннелирование Фаулера-Нордгейма, эмиссия Шоттки, эмиссия Пула-Френкеля, МДП-структура

Уменьшение размеров затвора и толщины диэлектрического слоя приводит к увеличению плотности тока утечки и снижению надежности затворного диэлектрика по мере миниатюризации КМОП-технологии (комплементарная металл-окисел-полупроводник технология), что особенно актуально при переходе к нанометровым нормам для уменьшения потерь мощности в интегральных схемах. Для решения проблем, связанных с ограничениями классических затворных диэлектриков (SiO₂ или SiON), которые приближаются к своим физическим пределам, в 45-нм технологическом узле и последующих поколениях применяются новые материалы с высокой диэлектрической проницаемостью (high-k).

Механизмы токов утечки, которые мы исследовали в этой работе: туннелирование Фаулера-Нордгейма, эмиссия Шоттки, эмиссия Пула-Френкеля.

Наиболее частым механизмом тока утечки в затворных диэлектриках является эмиссия Шоттки, выражаемая в виде [1]:

$$J_{SE} = A^* T^2 \exp \left[\frac{-q(\phi_B - \sqrt{\frac{qE}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0}})}{k_B T} \right], \quad (1)$$

где J_{SE} – плотность тока, A^* – эффективная постоянная Ричардсона, $A^* = 4\pi q (m^*_{ox}) k^2/h^3 = 120 (m^*_{ox}/m_0)$, T – абсолютная температура, q – заряд электрона, $q\phi_B$ – высота барьера Шоттки (то есть, ϕ_B), E – напряженность электрического поля, $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж / К постоянная Больцмана, $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, ϵ_r – динамическая диэлектрическая постоянная (т.е. электронная компонента диэлектрической постоянной), ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость свободного пространства, m_0 – масса свободного электрона, m^*_{ox} – эффективная масса электрона. ϵ_r равно квадрату измеренного показателя преломления ($n = \epsilon_r^{1/2}$).

Механизм проводимости тока, туннелирование Фаулера-Нордгейма выражается [2]:

$$J_{FN} = BE^2 \exp \left[\frac{-8\pi(2qm_r)^{1/2}\phi_B^{3/2}}{3hE} \right], \quad (2)$$

где B , как правило, считается постоянной, m_r – туннельная эффективная масса электронов, и другие термины определены выше.

На рисунке 1 приведена зависимость плотности тока от напряжения МДП-структуры Al-SmF₃-nSi. Анализ показывает, что на данном графике в прямом направлении с хорошей достоверностью аппроксимации наблюдается механизм туннелирования Фаулера-Нордгейма в интервале от 15 В до 21 В, и механизм Шоттки в интервале от 7 В до 10 В. Остальные области в прямом направлении имеют смешанный механизм электропроводности.

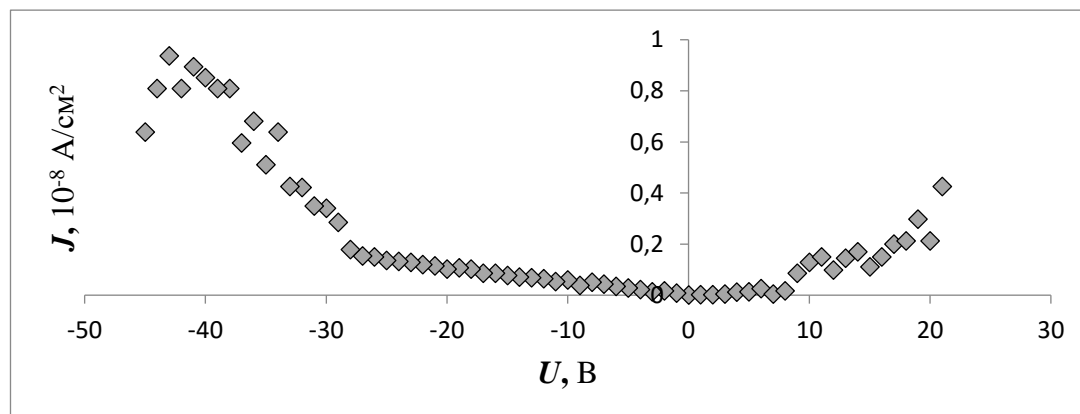


Рис. 1. Зависимость плотности тока от напряжения МДП-структуры Al-SmF₃-nSi

В обратном направлении (-41 В) – (-24 В) - это механизм туннелирования Фаулера-Нордгейма, и (-11 В) – (-22 В) - механизм эмиссии Шоттки, остальные области в обратном направлении также имеют смешанный механизм электропроводности. Для структуры Al-YF₃-nSi в основном наблюдался механизм эмиссии Шоттки как в прямом, так и в обратном направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lin, K.C. Leakage current conduction behaviors of 0.65 nm equivalent-oxide-thickness HfZrLaO gate dielectrics / K.C. Lin, J.Y. Chen, H.W. Hsu, H.W. Chen, C.H. Liu // Solid-State Electronics. - 2012. - V. 77. - P. 7–11.
2. Kwon, H-M. Carrier transport mechanism in La-incorporated high-k dielectric/metal gate stack MOSFETs / Hyuk-Min Kwon, Won-Ho Choi, In-Shik Han, Min-Ki Na, Sang-Uk Park, Jung-Deuk Bok, Chang-Yong Kang, Byoung-Hun Lee, Raj Jammy, Hi-Deok Lee // Microelectronic Engineering. - 2011. - V. 88. - P. 3399–3403.

MECHANISMS OF LEAKAGE CURRENT FLOW IN MOS STRUCTURES WITH THIN-FILM DIELECTRICS BASED ON RARE-EARTH ELEMENT COMPOUNDS

R. A. Kalitov

*Samara National Research University Named after Academician S.P. Korolev
(1 Akademika Pavlova St., Samara, 443086) e-mail: romankalitov63@gmail.com*

A detailed study of leakage currents in Al-SmF₃-nSi and Al-YF₃-nSi MIS structures was conducted over a wide voltage range. The conduction mechanisms analyzed included Fowler-Nordheim tunneling, Schottky emission, the Poole-Frenkel effect, and the space charge current limiting mechanism. Measurements were performed over a voltage range of ± 50 V at room temperature. For each mechanism, current-voltage characteristics were plotted in the corresponding coordinates, allowing us to determine the dependence of leakage currents on the applied voltage.

Keywords: leakage current density, Fowler-Nordheim tunneling, Schottky emission, Poole-Frenkel emission, metal-insulator semiconductor structure

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СПИРАЛЬНЫХ ПУЧКОВ СВЕТА ГОЛОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Д.И. Кашапова^{1,2}, Д.В. Прокопова¹, С.П. Котова^{1,2}

¹*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

²*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: dianazavrrr@mail.ru*

В работе исследуются спиральные пучки света, сформированные голографическим методом. Рассмотрены два типа профиля штриха решетки для расчета голограмм спиральных пучков. Произведена оценка энергетической эффективности и качества распределения интенсивности сформированных пучков.

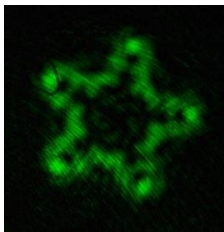
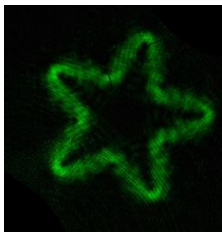
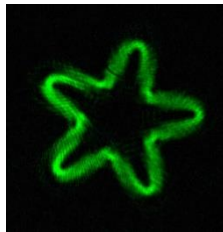
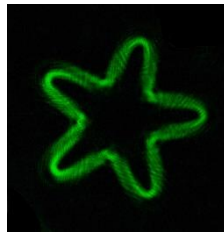
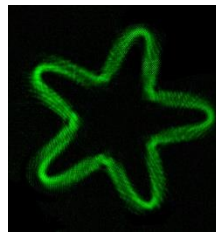
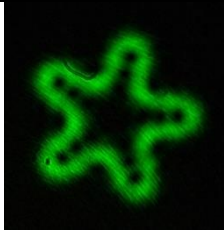



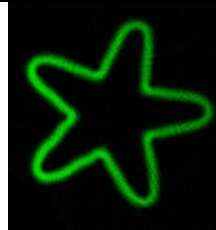
Ключевые слова: спиральные пучки света, голография, профиль штриха решетки, энергетическая эффективность.

Спиральные пучки света находят широкое применение в решении разнообразных прикладных задач современной оптики и фотоники. Спиральные пучки света (СПС) - световые поля, сохраняющие структуру интенсивности с точностью до масштаба и вращения при распространении и фокусировке [1]. В работе рассматриваются пучки света в форме замкнутой кривой, для которых существует условие квантования, связывающее площадь пучка (S), с гауссовым параметром (ρ) и числом нулей комплексной амплитуды внутри контура (N) [1]. Одним из наиболее простых способов формирования световых полей является голографический. Такой метод можно реализовать при помощи компьютерных расчетов и фазового пространственного модулятора света.

В работе исследуется качество восстановления СПС, сформированных двумя видами голограмм, которые отличаются профилем штриха дифракционной решетки: синусоидальный [2] и треугольный [3].

Экспериментально измерено, что энергетическая эффективность голограммы с треугольным штрихом решетки составляет 30%, а с синусоидальным — вдвое меньше (15%). При исследовании качества пучков были рассмотрены такие математические параметры: среднеквадратичная ошибка, отношение сигнал/шум, коэффициент структурного подобия. Оценка математических параметров показала, что у голограмм с треугольным штрихом решетки результаты на 10% лучше, чем с синусоидальным штрихом решетки. Это отличие может быть связано с увеличением сигнала, приходящегося на первый порядок дифракции при использовании голограммы с треугольным профилем штриха решетки.

Таблица 1. Экспериментально зарегистрированные распределения интенсивности спиральных пучков света, сформированных голограммами с синусоидальным и треугольным профилем штриха решётки.

N:	20	50	70	100	120
Синусоидальный					
Треугольный					

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.Г. Абрамочкин, В.Г. Волостников, Современная оптика гауссовых пучков // М.: Физматлит, 2010, 184 с.
2. К.Н. Афанасьев, С.А. Кишкин, Формирование спиральных пучков при помощи фазовых голограмм // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2012, т. 14, №. 4, с. 184-188.
3. В.П. Аксенов, Формирование оптических вихрей с помощью голограмм с асимметричным профилем штриха // Оптика и спектроскопия, 2018, т. 124, №. 2, с. 275-279.

STUDY OF LIMITATIONS ARISING IN THE FORMATION OF SPIRAL LIGHT BEAMS BY THE HOLOGRAPHIC METHOD

D.I. Kashapova^{1,2}, D.V. Prokopova¹, S.P. Kotova^{1,2}

*¹Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

*²Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

e-mail: dianazavrrr@mail.ru

This paper examines spiral light beams generated using a holographic method. Two types of grating line profiles are considered for calculating holograms of spiral beams. The energy efficiency and intensity distribution quality of the generated beams are assessed.

Keywords: spiral beams of light, holography, grating line profile, energy efficiency.

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМА НА ПРОЧНОСТЬ СЛОИСТОГО ОБРАЗЦА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА А5

Р.Р. Ахметвалеев, Б.В. Кирпиченко, С.В. Воронин

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34)
e-mail: kirpichenkoBV@yandex.ru*

Для определения влияния вакуума на прочность алюминиевого сплава А5 в работе предложена слоистая конструкция образца. Разработана методика проведения испытаний слоистых образцов в вакууме на одноосное растяжение. Проведены испытания на одноосное растяжение образцов из алюминиевой фольги сплава А5 при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и остаточном давлении 3×10^{-3} мм рт. ст., при комнатной температуре. Определено влияние вакуума на предел прочности слоистого образца алюминиевого сплава А5. Проведен анализ диаграмм растяжений и характер разрушений.

Ключевые слова: поверхностная энергия, вакуум, алюминиевый сплав, предел прочности, механика деформации.

Для обеспечения прочности и долговечности космических аппаратов необходимо иметь представление о поведении материала в условиях космоса. Одним из факторов космического пространства является вакуум. Для прогнозирования поведения тонкостенных конструкций в условиях вакуума необходимо разработать методику испытаний материалов и исследовать процесс их деформирования и разрушения. Поэтому целью данной работы является исследование влияния вакуума на механические свойства слоистых образцов из алюминиевого сплава А5.

Для достижения данной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать конструкцию слоистого образца с максимально большой удельной поверхностью.
2. Разработать методику проведения испытаний слоистых образцов на одноосное растяжение.
3. Определить механические свойства слоистых образцов из алюминиевого сплава А5 и провести сравнительный анализ.

Процесс разрушения алюминиевых сплавов в условиях вакуума является многогранной задачей так как необходимо учитывать поверхностную энергию атомов, расположенных на границе разделения фаз. Поверхностные атомы имеют меньше соседей по сравнению с атомами внутри кристалла, поэтому они находятся в более энергетически невыгодном положении [1,2]. Для увеличения эффекта влияния вакуума необходимо увеличить удельную поверхность испытываемых образцов. Поэтому в данной работе предложено испытание образцов из фольги алюминиевого сплава А5 толщиной 30 мкм и размерами -длина 90 мм, ширина 20 мм, 40 слоев. Для исключения возникновения большого числа концентраторов напряжений по краю, образцы формировались путем укладывания «гармошкой» листа размерами 440x100 мм.

В процессе закрепления образцов в механизме разрывной машины возникает вероятность выскальзывания или пережатия материала в местах захвата. Также в условиях вакуума происходит снижение усилия прижима губок захватного механизма, поэтому в данной работе, экспериментальным путем, был определен оптимальный материал прокладок между слоями образца и губками захватного механизма разрывной машины. А также изменено устройство захватных механизмов путем введения в конструкцию упругих элементов для дополнительной прижимной силы зажатия образцов.

В ходе работы проведены испытания на одноосное растяжение образцов из алюминиевой фольги сплава А5 при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и остаточном давлении 3×10^{-3} мм рт. ст., при комнатной температуре. Определено влияние вакуума на предел прочности слоистого образца алюминиевого сплава А5. Проведен анализ диаграмм растяжений и характер разрушений. Получение результаты могут использоваться для прогнозирования поведения конструкционных материалов в условиях космического пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аграфонов Ю. В., Дамдинов Б. Б., Цыдыпов Ш. Б. Молекулярные явления на границе жидкость-твёрдое тело // Доклады Российской академии наук. Серия физика, технические науки. — 2015. — Т. 494, № 3. — С. 89–92.
2. Поверхностное натяжение и связанные с ним явления: учеб. пособие / под ред. В. И. Иванова ; Белорусский гос. мед. ун-т. — Минск, 2014. — 60 с.

THE EFFECT OF VACUUM ON THE STRENGTH OF A LAMINATED A5 ALUMINUM ALLOY SPECIMEN

R.R. Akhmetvaleev, B.V. Kirpichenko, S.V. Voronin

Samara National Research University
(34, Moskovskoye Shosse, Samara, 443086, Russia)
e-mail: kirpichenkoBV@yandex.ru

To determine the effect of vacuum on the strength of the A5 aluminum alloy, a laminated specimen structure is proposed in this work. A methodology for testing laminated specimens under uniaxial tension in a vacuum has been developed. Uniaxial tensile tests were performed on specimens made of A5 aluminum alloy foil at an atmospheric pressure of 760 mmHg and a residual pressure of 3×10^{-3} mmHg, at room temperature. The influence of vacuum on the ultimate tensile strength of the laminated A5 aluminum alloy specimen was determined. An analysis of the stress-strain diagrams and fracture patterns was conducted.

Keywords: surface energy, vacuum, aluminum alloy, ultimate tensile strength, deformation mechanics.

ГИСТЕРЕЗИС, МЕДЛЕННАЯ ДИНАМИКА И МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ НА ВОДНОМ ИНТЕРФЕЙСЕ СТЕКЛА, ВЫЯВЛЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСКОПИИ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ

И.А. Ковалев^{1,2}, И.Ю. Еремчев², D. Roesel³, М.Ю. Еремчев²

¹*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
(101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20)*

²*Троицкое обособленное подразделение физического института
имени П.Н. Лебедева РАН, (108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая 11)*

³*École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
(CH-1015 Lausanne, Switzerland)
e-mail: ikovalev4248@yandex.ru*

Динамика интерфейса стекло-вода в условиях протока и циклического изменения pH исследована методом микроскопии генерации второй гармоники. Обнаружены эффекты гистерезиса, метастабильные состояния и различная кинетика восстановления при переходах между кислотной, нейтральной и щелочной средой. Полученные результаты демонстрируют, что электрохимические свойства стеклянной поверхности существенно сложнее традиционных моделей и открывают перспективы для исследования широкого класса водных интерфейсов, включая биологические системы, такие как липидные мембраны.

Ключевые слова: нелинейная оптика, генерация второй гармоники, водный интерфейс стекла, двойной электрический слой.

Современные исследования показывают, что электрохимические процессы на границах раздела типа оксид–вода играют ключевую роль как в фундаментальных науках, так и в прикладных технологиях - от биофизики и нанотехнологий до очистки воды, хранения энергии и управления коллоидной стабильностью [1]. В частности, интерфейс стекло-вода является модельной системой, определяющей широкий спектр явлений: электроосмотический транспорт, межфазные взаимодействия и работу микрофлюидных устройств [2]. Его свойства обусловлены кислотно-основным поведением поверхностных силанольных групп и организацией гидратного слоя, что делает интерфейс высокочувствительным к pH, ионной силе и условиям протока [3-5].

При этом именно в условиях потока жидкости интерфейс оказывается в неравновесном состоянии, что может приводить к перестройкам двойного электрического слоя, изменению локального pH и появлению эффектов гистерезиса [1]. Для исследования таких процессов требуются методы, способные избирательно регистрировать динамику на поверхности, исключая сигнал из объема.

В настоящей работе представлен подход на основе микроскопии генерации второй гармоники (ГВГ), обладающей исключительной поверхностной чувствительностью. Метод позволяет в реальном времени регистрировать изменения поверхностного потенциала водного интерфейса стекла при контролируемом протоке жидкости и циклическом изменении pH. Показано, что при переходах «pH 2 – pH 7» и «pH 12 – pH 7» интерфейс проявляет замедленную по сравнению с переходами из нейтральной среды кинетику восстановления, а также зарядовый гистерезис, связанный с молекулярно-структурными перестройками силанольных групп и гидратного слоя. В частности, при переходе от pH 12 к pH 7 поверхностный потенциал достигает –110 мВ, что примерно на 78% выше по модулю, чем значение –62 мВ, наблюдаемое при переходе от pH 2 к pH 7. При последовательных циклах «pH 2 – pH 7 – pH 2» система

демонстрирует множественные метастабильные состояния: потенциал на pH 7 постепенно снижается от -110 мВ и стабилизируется около -25 мВ, тогда как при циклах «pH 12 – pH 7 – pH 12» подобных изменений не наблюдается.

Разработанный экспериментальный подход открывает новые возможности для прямого и неинвазивного изучения динамики водных интерфейсов в условиях потока. Полученные результаты имеют принципиальное значение, поскольку во многих задачах физики конденсированного состояния и мягкой материи интерфейс стекло-вода часто рассматривается как фиксированное электростатическое граничное условие с постоянной поверхностной плотностью заряда или простой зависимостью потенциала от pH. Полученные данные демонстрируют, что реальные свойства поверхности существенно сложнее, включая наличие гистерезиса и метастабильных состояний, что может оказывать заметное влияние на интерпретацию эффектов в системах, таких как липидные мембраны на стеклянных подложках. В более широком контексте разработанный подход и выявленные эффекты могут найти применение в биофизике, микрофлюидике, электроосмотических технологиях и смежных областях, где критично учитывать неравновесные поверхностные процессы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант № 25-22-00346, <https://rscf.ru/en/project/25-22-00346/>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. L. Banuelos, E. Borguet, G. E. Brown et al. Oxide– and Silicate–Water Interfaces and Their Roles in Technology and the Environment, *Chemical Reviews*, 123, 6413–6544, (2023).
2. E. Barry, R. Burns, W. Chen et al. Advanced Materials for Energy-Water Systems: The Central Role of Water/Solid Interfaces in Adsorption, Reactivity, and Transport, *Chemical Reviews*, vol. 121, pp. 9450–9501, Aug. 2021.
3. Zhuravlev, L. T. The Surface Chemistry of Amorphous Silica. Zhuravlev Model. *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* 2000, 173 (1–3), 1–38.
4. Azam, Md. S.; Weeraman, C. N.; Gibbs-Davis, J. M. Specific Cation Effects on the Bimodal Acid–Base Behavior of the Silica/Water Interface. *J. Phys. Chem. Lett.* 2012, 3 (10), 1269–1274.
5. Lis, D.; Backus, E. H. G.; Hunger, J.; Parekh, S. H.; Bonn, M. Liquid Flow along a Solid Surface Reversibly Alters Interfacial Chemistry. *Science* 2014, 344 (6188), 1138–1142.

HYSTERESIS, SLOW DYNAMICS, AND METASTABLE STATES AT THE SILICA-AQUEOUS INTERFACE REVEALED BY SECOND HARMONIC GENERATION MICROSCOPY

I.A. Kovalev^{1,2}, I.Yu. Eremchev², D. Roesel³, M.Yu. Eremchev²

¹*HSE University (Myasnitskaya St. 20, Moscow, Russia, 101000)*

²*Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Troitsk Branch, (Fizicheskaya St. 11, Troitsk, Moscow, Russia, 108840)*

³*École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) (CH-1015 Lausanne, Switzerland)*
e-mail: ikovalev4248@yandex.ru

The dynamics of the silica–water interface under flow and cyclic pH variation were investigated using second harmonic generation microscopy. Hysteresis effects, metastable states, and distinct recovery kinetics were observed during transitions between acidic, neutral, and alkaline conditions. The results demonstrate that the electrochemical properties of the glass surface are substantially more complex than predicted by traditional models and open new perspectives for studying a wide range of aqueous interfaces, including biological systems such as lipid membranes.

Keywords: nonlinear optics, second harmonic generation, silica-aqueous interface, electrical double layer.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАКСИАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК С ПРИМЕНЕНИЕМ GPU- ВЫЧИСЛЕНИЙ И АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.Н. Кречко

Самарский национальный исследовательский университет им. Академика

С.П. Королёва

(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: krechkovsevolod@mail.ru

Аннотация — В работе проведено исследование модификаций дифракционного аксикона для формирования и оптимизации структуры оптической ловушки в параксиальной области. Моделирование поля основано на преобразовании Френеля с ускорением расчетов на GPU. Разработан автоматический алгоритм для детектирования областей малой интенсивности на основе оператора Собеля. Данная методология позволяет моделировать прохождение пучками фазовых и амплитудных препятствий, автоматически идентифицировать области захвата, а также унифицировать процесс исследования и оптимизации параметров оптических ловушек.

Ключевые слова: оптическая бутылка, дифракционный аксикон, оптимизация структуры, преобразование Френеля, ускорение расчётов с помощью GPU, автоматическое детектирование ловушек.

В данной работе разработана методика численного моделирования распространения параксиальных оптических полей в свободном пространстве. Основой модели служит интеграл Френеля [1]:

$$E(x, y, z) = \frac{1}{i\lambda z} \iint_{-\infty}^{+\infty} U_0(u, v) \exp \left[\frac{-ik}{2z} ((x-u)^2 + (y-v)^2) \right] dudv,$$

который в параксиальном приближении эквивалентен свёртке с импульсной характеристикой и может быть эффективно вычислен через двумерное преобразование Фурье [2]:

$$E(x, y, z) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \mathcal{F}\{U_0(u, v)\} \cdot \exp \left[\frac{-ik}{2z} (u^2 + v^2) \right] \right\}.$$

Расчёт реализован на языке Python с использованием библиотеки CuPy, обеспечивающей GPU-ускорение через библиотеку cuFFT [3]. Благодаря мелкому шагу дискретизации ($\Delta x \sim 10^{-2}$ мм), достигнутому за счёт параллельных вычислений, метод устойчив к алиасингу и позволяет точно воспроизводить тонкую структуру поля даже при наличии сложных фазовых и амплитудных препятствий.

Центральным элементом работы является автоматизированный алгоритм поиска зон захвата — локальных минимумов интенсивности $I(x, y, z) = |E(x, y, z)|^2$ в трёхмерном пространстве. Для этого применяется трёхмерный оператор Собеля [4], вычисляющий модуль градиента:

$$|\nabla I| = \sqrt{(S_x(I))^2 + (S_y(I))^2 + (S_z(I))^2},$$

где S_i — дискретный оператор Собеля вдоль оси i . Минимумы определяются как точки, где $|\nabla I| < \tau$ и знаки градиентов соседних слоёв указывают на локальный минимум. Поиск ограничивается центральной кольцевой областью, задаваемой радиусами r_{min}, r_{max} , что повышает точность детекции.

На рисунке 1 показано входное поле, сформированное дифракционным аксиконом с наложенной кольцевой апертурой.

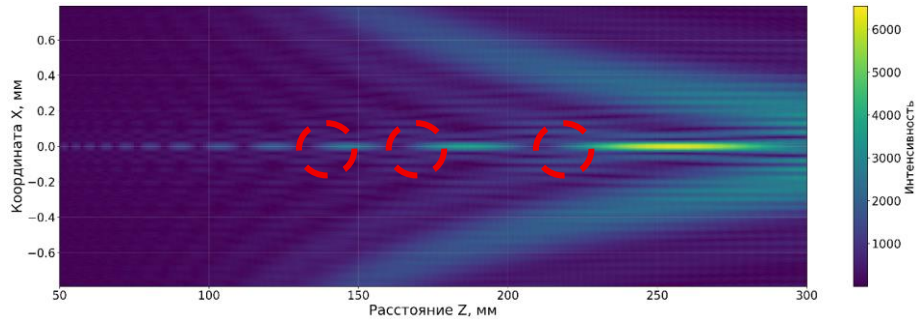


Рис. 1. Амплитуда (слева) и фаза (справа) входного поля с апертурами

Создание дискретной послойной модели распространения пучка открывает возможность применения современных методов обработки изображений не только для детекции ловушек, но и для решения узкоспециализированных задач — например, количественной оценки размера и глубины потенциальной ямы захвата. Это значительно упрощает и ускоряет исследования в области структуры параксиальных пучков и оптимизации оптических систем захвата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goodman J.W. Introduction to Fourier Optics. — 3rd ed. — Englewood: Roberts and Company Publishers, 2005. — 520 p.
2. Sobel I., Feldman G. An isotropic 3×3 image gradient operator // Talk at the Stanford Artificial Intelligence Project. — 1968. — P. 45–52.

AUGMENTATION OF BLOOD SERUM RAMAN SPECTRA

V.N. Krechko

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: krechkovsevolod@mail.ru*

Abstract — This study investigates modifications of the diffractive axicon for generating and optimizing the structure of an optical trap in the paraxial region. Field modeling is based on the Fresnel transform, accelerated via GPU computation. An automated algorithm has been developed to detect regions of low intensity using the Sobel operator. This methodology enables simulation of beam propagation through phase and amplitude obstacles, automatic identification of trapping regions, and provides a unified framework for investigating and optimizing optical trap parameters.

Keywords: optical bottle, diffractive axicon, structure optimization, Fresnel transform, GPU-accelerated computation, automatic trap detection.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ ПРОЛИНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

И.В. Лапаева

Самарский национальный исследовательский университет

имени академика С.П. Королева,

(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: lapaevairina@icloud.com

Проведено отнесение ряда полос в спектре НПВО пролина, используя свойства характеристичности колебаний и данные расчета с помощью программы Hyper Chem 8.0.

Ключевые слова: пролин, Фурье-спектроскопия, валентные и деформационные колебания.

Пролин – одна из 20 существующих аминокислот. Пролин участвует в процессе синтеза хлорофилла, способствует удержанию влаги, укрепляет стенки растительных клеток, повышает устойчивость растений к неблагоприятным природным факторам, нивелирует последствия стресса. В последние годы всё шире при анализе аминокислот и лекарственных препаратов применяются методы ИК-Фурье спектроскопии комбинационного рассеяния (КР).

Целью данной работы было провести отнесение наблюдаемых полос колебаниями соответствующих групп., используя расчеты с помощью программы Hyper Chem 8.0 и свойства характеристичности колебаний.

В растениях и в организме человека присутствует L-пролин. В качестве образца использовался порошок L-пролина. Спектры регистрировали с помощью прибора Perkin – elmer Spectrum 100 IR с разрешением 4 см^{-1} в диапазоне от 550 до 4000 см^{-1} . В качестве метода использовал метод НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения).

На рис.1 приведен Фурье спектр L-пролина

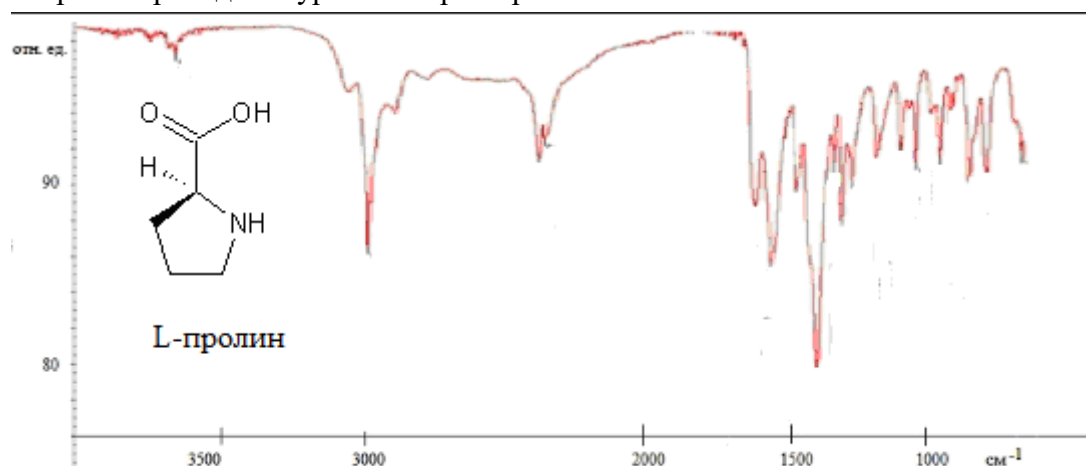


Рис.2. Фурье спектр L_пролина.

В высокочастотной области спектра наблюдается полоса с максимумом 3649 см^{-1} , которую можно отнести к валентным колебаниям ОН группы. Полосы 2926 и 2853 см^{-1}

¹ соответствуют антисимметричным и симметричным колебаниям метиленовой группы CH_2 .

В области 2360 см^{-1} наблюдается полоса, которую относят к комплексу с водородной связью амино-группы $-\text{N}-\text{H}\cdots\text{O}-$

В спектрах Фурье для всех аминокислот наблюдаются полосы, связанные с колебаниями амидной группы.

Полоса амид 1 в основном обусловлена валентными колебаниями $\text{C}=\text{O}$ связи амидной группы. Обычно она находится в области $1600\text{-}1700 \text{ см}^{-1}$. Эту полосу рекомендуют использовать для мониторинга изменений, вызванных внешними воздействиями, например, изменением температуры.

Вторая полоса связана в основном с деформационными колебаниями N-H группы и лежит в области $1470\text{-}1570 \text{ см}^{-1}$. К этим трем полосам следует добавить деформационные колебания группы C-N-C , полоса которых находится в области $1250\text{-}1350 \text{ см}^{-1}$. В более низкочастотной области спектры расположены полосы валентных колебаний C-O , C-N и деформационных колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О.В.Корякова, М.С Валова и др. Синтез и спектроскопическое исследование оксидов Si, Ti, Mg, Zn, модифицированных L-пролином. Журнал прикладной спектроскопии, 2021, т.88, №3, с.3980407.
2. Б.Н Тарасевич. ИК спектры основных классов органических соединений. /Текст: электронный//. Москва, 2012.

VIBRATIONAL SPECTRA OF PROLINE AND ITS DERIVATIVES

I.V. Lapaeva

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: lapaevairina@icloud.com*

A number of bands in the ATR spectrum of proline were assigned using the properties of the characteristic vibrations and calculation data using the Hyper Chem 8.0 program.

Key words: proline, Fourier spectroscopy, stretching and deformation vibrations.

ШЕСТИВОЛНОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТЕПЛОВОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ В СХЕМЕ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Н.С. Лобанов, А.А. Акимов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика

С. П. Королева,

(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: lobanovnikita@mail.ru

Получено выражение для пространственного спектра объектной волны при шестиволновом взаимодействии на тепловой нелинейности в схеме с обратной связью. Проанализировано влияние обратной связи на эффективность и качество преобразования излучения при шестиволновом взаимодействии на тепловой нелинейности.

Ключевые слова: шестиволновой преобразователь излучения, тепловая нелинейность, обратная связь.

Наряду с повышением эффективности четырехволновых преобразователей излучения представляет интерес повышение эффективности шестиволновых преобразователей излучения [1,2]. Для четырехволновых преобразователей излучения на тепловой нелинейности наложение обратной связи с помощью кольцевого резонатора позволило значительно увеличить амплитудный коэффициент отражения [3,4].

Представляет интерес исследовать влияние обратной связи на эффективность шестиволнового преобразователя излучения на тепловой нелинейности.

Невырожденное шестиволновое взаимодействие $\omega_2 = \omega_1 + \omega_1 + \omega_2 - \omega_1 - \omega_1$ описывалось с помощью уравнения Гельмгольца, которое дополнялось уравнением Пуассона. Волны накачки считались плоскими. Сигнальная и объектная волны раскладывались по плоским волнам. Использовались приближение заданного поля по волнам накачки, приближение медленно меняющихся амплитуд и параксиальное приближение. Учитывалась интерференция сигнальной волны с первой волной накачки. Получено выражение для пространственного спектра объектной волны на передней грани нелинейного слоя, которое дополнялось граничными условиями с учетом расположения нелинейной среды внутри кольцевого резонатора. Сигнальная волна представлялась в виде точечного источника, расположенного на передней грани нелинейного слоя.

Проанализировано влияние обратной связи на эффективность и качество преобразования излучения при шестиволновом взаимодействии на тепловой нелинейности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В. Ивахник, В.И. Никонов, М.В. Савельев, Удвоенное обращение волнового фронта при шестиволновом взаимодействии на тепловой нелинейности // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2015, т.18, № 1, с. 13-17.

2. В.В. Ивахник, В.И. Никонов, Шестиволновое взаимодействие с удвоенным обращением волнового фронта на тепловой нелинейности в среде с нелинейным коэффициентом поглощения // Компьютерная оптика, 2017, т.41, № 3, с. 315-321.
3. А.А. Акимов, С.А. Гузаиров, В.В. Ивахник, Четырёхволновое взаимодействие на тепловой нелинейности в схеме с положительной обратной связью // Компьютерная оптика, 2018, т.42, № 4, с. 534-541.
4. А.А. Акимов, С.А. Гузаиров, В.В. Ивахник, Качество преобразования излучения при четырехволновом взаимодействии на тепловой нелинейности с учетом обратной связи // Компьютерная оптика, 2021, т.45, № 5, с. 667-672.

SIX-WAVE RADIATION CONVERTER ON THERMAL NONLINEARITY IN THE SCHEME WITH FEEDBACK

N.S. Lobanov, A.A. Akimov

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: lobanovnikita@mail.ru*

An expression for the spatial spectrum of an object wave is obtained for a six-wave mixing on thermal nonlinearity in the scheme with feedback. The influence of feedback on the efficiency and quality of radiation conversion under six-wave mixing on thermal nonlinearity is analyzed.

Keywords: six-wave radiation converter, thermal nonlinearity, feedback.

СВЕТОРАССЕЯНИЕ В ДИСПЕРСНЫХ ЖИДКОСТЯХ НА МАЛЫХ УГЛАХ

В.А. Любошенко^{1*}, Д.А. Елхимов^{1,2}, О.А. Заякин², С.П. Котова², М.Н. Мамзиков¹,
А.И. Пономарев^{2,3}, Т.Н. Сапцина²

¹Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Сарове

607328, Нижегородская область, город Саров, улица Парковая, 2

²Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук 443011, Российская Федерация, Самара, ул. Ново-Садовая, д. 221

³Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34

*e-mail: lyuboshenko.vasya@yandex.ru

Представлены результаты экспериментального и теоретического исследования светорассеяния в дисперсных жидкостях на малых углах при малой концентрации дисперсной фазы. Подтверждено предположение о влиянии вторичного рассеяния и существовании в среде неоднородностей оптической плотности.

Ключевые слова: теория Ми, светорассеяние, дисперсные жидкости, неоднородности оптической плотности.

На малых углах становится значимым рассеяние на неоднородностях оптической плотности многих сред. Например, в воде это неоднородности плотности [1], а подсолнечном масле - крупные агломераты окислов триглицеридов [2]. В экспериментах в качестве дисперсной фазы использовались монодисперсные микрометровые полистирольные частицы. Так как оптические неоднородности рассеивают преимущественно в диапазоне малых углов, а частицы дисперсной фазы преимущественно в диапазоне больших углов, происходит «перекачка» рассеянной интенсивности в диапазон больших углов.

Для проверки данной гипотезы был создан программно-аппаратный комплекс, базирующийся на теории Ми. На основе экспериментальных данных методом Левенберга–Марквардта решается следующая система уравнений:

$$\begin{cases} c_{ne} \cdot I_{ne}(\theta_1) + c_m \cdot I_m(\theta_1) + p \cdot I_{sec}(\theta_1) = I_{exp}(\theta_1), \\ c_{ne} \cdot I_{ne}(\theta_2) + c_m \cdot I_m(\theta_2) + p \cdot I_{sec}(\theta_2) = I_{exp}(\theta_2), \\ \vdots \\ c_{ne} \cdot I_{ne}(\theta_n) + c_m \cdot I_m(\theta_n) + p \cdot I_{sec}(\theta_n) = I_{exp}(\theta_n). \end{cases}$$

где I_{exp} - интенсивность рассеяния, полученная экспериментально; I_{ne} , I_m , I_{sec} - расчетные интенсивности рассеяния неоднородностей, частиц дисперсной фазы и вторично рассеянного света соответственно; c_{ne} , c_m , p , - соответствующие весовые коэффициенты относительно которых производится решение системы.

Для среды масло-полистирол (рис.1) было обнаружено, что весовой коэффициент, отвечающий за вторичное рассеяние в диапазоне малых углов значителен, и возрастает с ростом концентрации дисперсной фазы. c_{ne} , c_m были равны 1 и 10^{-7} соответственно, что свидетельствует о значительном влиянии вторичного рассеяния и подтверждает выдвинутую гипотезу.

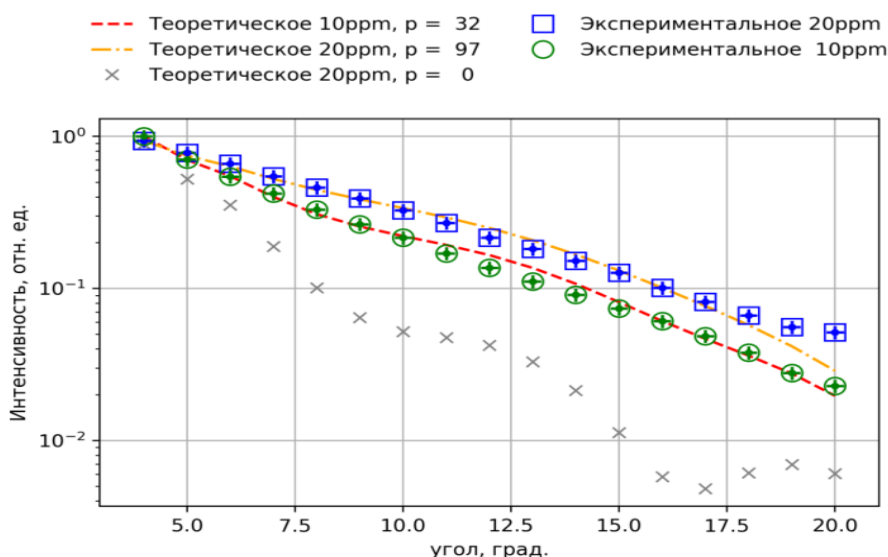


Рисунок 1 Зависимость интенсивности рассеянного света от угла рассеяния в дисперсной среде полистирольные частицы в подсолнечном масле при разных концентрациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Choe E., Min D.B. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils // J. Food Sci. 2007. V. 72. № 5. P. R77–R86.
2. Букатый В.И., Нестерюк П.И. Исследование оптических неоднородностей в дважды дистиллированной воде оптическим методом малых углов рассеяния и методом флуктуаций прозрачности // Известия Алтайского государственного университета, 2011, №. 1-2, с. 133-137.

LIGHT SCATTERING IN DISPERSED LIQUIDS AT SMALL ANGLES

V.A. Lyuboshenko^{1*}, D.A. Elkhimov^{1,2}, O.A. Zayakin², S.P. Kotova², M.N. Mamzikov¹, A.I. Ponomarev^{2,3}, T.N. Saptsina²

¹*Branch of Moscow State University named after. M.V. Lomonosov in Sarov 607328, Nizhny Novgorod region, urban district of the ZATO city of Sarov, Parkovaya street*

²*Lebedev Institute Samara Branch*

(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

³*Samara National Research University,*

(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

*e-mail: lyuboshenko.vasya@yandex.ru

This paper presents the results of a study of light scattering in dispersed liquids at small angles with a low concentration of the dispersed phase. With these characteristics, a decrease in the scattering signal with increasing dispersed phase concentration was experimentally observed. This effect may be due to the influence of secondary scattering and the existence of optical density inhomogeneities in the medium.

Keywords: Mie theory, light scattering, dispersed liquids, non-uniformities of optical density

ОПТИЧЕСКАЯ БИСТАБИЛЬНОСТЬ В ПАССИВНОЙ СРЕДЕ С КЕРРОВСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

А.М. Малафеев², А.А. Кренц^{1,2}

¹Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

²Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: andreyka_shal@mail.ru

В работе теоретически исследована динамика излучения в пассивной среде с Керровской нелинейностью внутри кольцевого резонатора. Проведён анализ устойчивости стационарных решений в математической модели и на его основе построена бифуркационная диаграмма. Была найдена область значений параметров уравнения, при которых система находится в состоянии бистабильности. Рассмотрены циклы гистерезиса относительно управляющих параметров уравнения.

Ключевые слова: оптическая бистабильность, Керровская нелинейность, кольцевой резонатор.

Простейшая модель, в которой наблюдается дисперсионная бистабильность, получается в случае, когда в качестве нелинейной среды рассматривается среда с Керровской нелинейностью внутри кольцевого резонатора. Данная модель применяется не только для оптоэлектронных устройств, где среда создается с использованием электрооптического кристалла с синтетической Керровской нелинейностью, но и для лазеров класса А.

Уравнения Максвелла-Блоха считаются общепринятыми для описания пространственно-временной динамики поля в резонаторе. В данной работе рассматривается приближение однородного и одномодового поля с учетом Керровской нелинейности:

$$\frac{dE}{dt} = \{-1 + i[|E|^2 - \theta(t)]\}E + E_{inj}(t).$$

Была проведена классификация типов стационарных точек данной динамической системы с точки зрения устойчивости. Пунктирные линии на бифуркационной диаграмме (рис.1) отделяют область бистабильности от области с единственным глобальным аттрактором. Были построены циклы гистерезиса относительно каждого управляющего параметра уравнения. Для полного исследования механизмов перехода от одного аттрактора к другому при изменении управляющих параметров системы были построены бассейны притяжения для каждого аттрактора при заданных значениях параметров $|E_{inj}|$ и θ (рис.2).

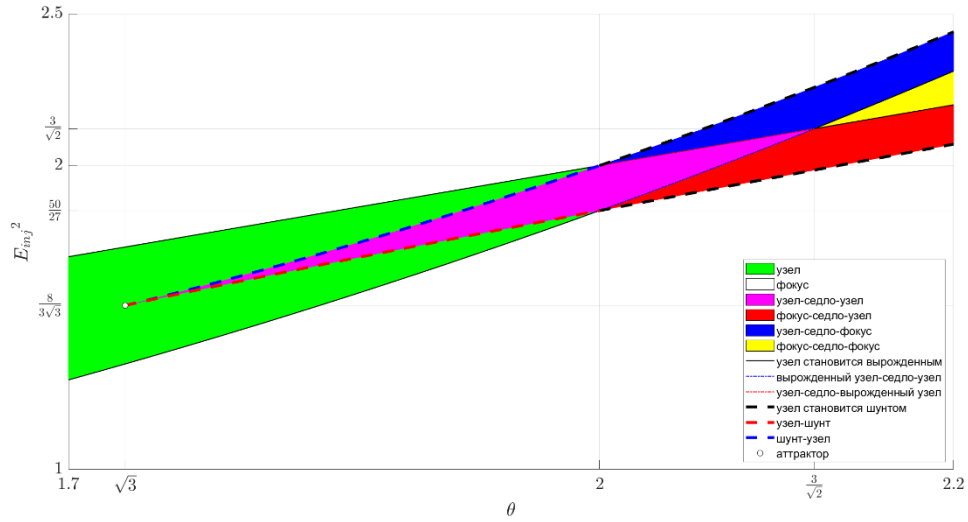


Рис. 1. Бифуркационная диаграмма

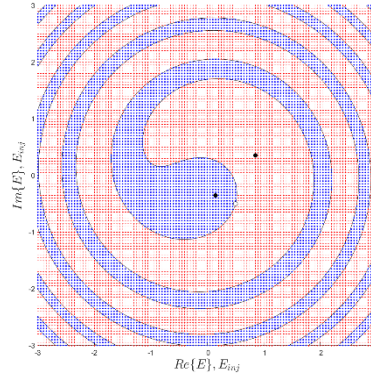


Рис. 2. Бассейны притяжения при $|E_{inj}|=2$ и $\theta=3$

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственные задания № FSSS-2023-0009 и № FFMR-2024-0017)

OPTICAL BISTABILITY IN A PASSIVE MEDIUM WITH KERR NONLINEARITY

A.M Malafeev² A.A Krents^{1,2}

¹*Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

²*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

e-mail: andreyka_shal@mail.ru

In this paper, we theoretically study the dynamics of radiation in a passive medium with Kerr nonlinearity inside a ring cavity. The stability of stationary solutions in the mathematical model is analyzed, and a bifurcation diagram is constructed based on this analysis. The region of parameter values for which the system is in bistable state is found. The hysteresis cycles with respect to the control parameters of the equation are discussed.

Keywords: optical bistability, Kerr nonlinearity, ring cavity.

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ОПТОТЕРМИЧЕСКОГО ПИНЦЕТА

И.П. Матвеев^{1,*}, С.П. Котова^{1,2}, Д.В. Прокопова², Н.Н. Лосевский²

¹*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)*

²*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

**e-mail: ivanmatveev1312@gmail.com*

В работе представлены результаты калибровки оптотермического пинцета методами отрывных сил и равновесного распределения. Значения жесткости для оптотермического пинцета совпадают в пределах погрешности.

Ключевые слова: оптотермический пинцет, жесткость пинцета, активная калибровка, пассивная калибровка, метод отрывных сил, метод равновесного распределения.

Оптотермический пинцет – оптический инструмент, который позволяет манипулировать микро- и нанообъектами разной формы, является более универсальным инструментом по сравнению с оптическим [1]. В оптотермических ловушках помимо оптической силы, за счет поглощения лазерного излучения и возникающего градиента температуры, формируются конвекционные потоки, которые захватывают и переносят исследуемые объекты [2]. Сила, действующая со стороны лазерного излучения на захваченный объект, зависит от параметров объекта, среды и излучения. В литературе используется такое понятие как жесткость k пинцета (коэффициент пропорциональности между силой, действующей на частицу со стороны оптической ловушки, и смещением этой частицы из центра ловушки). Процесс определения жесткости называют калибровкой [3]. Существуют различные методы калибровки. Их разделяют на активные и пассивные. Целью работы является определение жесткости оптотермического пинцета с помощью методов отрывных сил и равновесного распределения.

Для работы с оптотермическим пинцетом в экспериментах использовали кювету с дном из материала, который поглощает излучение на длине волны лазерного излучения, формирующего оптическую ловушку. В проведенных экспериментах в качестве материала, поглощающего на $\lambda=532$ нм, использовался светофильтр ОС-13. Исследуемыми объектами являлись микросферы из полистирола с диаметром 2 мкм, помещенные в дистиллированную воду. В методе отрывных сил сила оптического захвата сравнивалась с силой вязкого трения, возникающей в среде при перемещении предметного столика микроскопа относительно частицы, удерживаемой в оптическом пинцете. При увеличении скорости перемещения предметного столика сила вязкого трения превосходит силу оптического захвата, и частица покидает ловушку. В методе равновесного распределения отслеживаются колебания частицы около положения равновесия под действием Броуновского движения. Полученные значения жесткости представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения жесткости k оптотермического пинцета, полученные методом отрывных сил и равновесного распределения, при захвате микросфер из полистирола диаметром 2 мкм в дистиллированной воде при температуре $T=294$ К.

Метод	Вязкость η , Па·с	Мощность в рабочей зоне, мВт	Жесткость k , пН/мкм
Отрывных сил	0,001	10,3	0,66±0,07
Равновесного распределения			0,74±0,06

Полученные значения жесткости совпадают в пределах погрешностей. При оптическом захвате в таких же условиях жесткость ловушки составила методом отрывных сил $k=0,68\pm0,08$ пН/мкм и равновесного распределения $k=0,72\pm0,06$ пН/мкм. Близость значений жесткости для оптического и оптотермического пинцета можно объяснить тем, что радиальная составляющая конвекционных потоков в зоне оптотермической ловушки мала, а вертикальная не влияет на жесткость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Ashkin, Acceleration and trapping of particles by radiation pressure // Physical review letters, 1970, v. 24, №. 4, p. 156.
2. С. П. Котова и др, Оптотермические ловушки на основе мозаичных фазовых масок // Квантовая электроника, 2024, т. 54, №. 6, с. 355-361.
3. P. Jones, O. Maragó, G. Volpe, Optical tweezers. – Cambridge: Cambridge University Press, 2015. p. 547.

CHARACTERIZATION OF AN OPTOTHERMAL TWEEZER

I.P. Matveev^{1,*}, S.P. Kotova^{1,2}, D.V. Prokopova², N.N. Losevsky²

¹Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

²Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

*e-mail: ivanmatveev1312@gmail.com

The paper presents the results of the calibration of the optothermal tweezers by the methods of the separation forces and the equilibrium distribution, the manipulation of polystyrene microspheres in distilled water is carried out. The values of the stiffness for the optothermal tweezers obtained by different methods coincide within the error limits.

Key words: optothermal tweezers, tweezers stiffness, active calibration, passive calibration, detachment force method, equilibrium distribution method.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАРБИДА КРЕМНИЯ В ОБЛАСТИ СВЧ

К.А.Медведев, А.В.Щербак

*Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: medwedevkirill@gmail.com*

Рассмотрены волноводные методы измерения электрофизических параметров полупроводников. Измерено распределение электрического поля СВЧ волны перед структурой карбид кремния на кремнии.

Ключевые слова: карбид кремния, СВЧ, волновые методы.

Тонкие пленки карбида кремния (SiC) представляют собой уникальный класс материалов, обладающих выдающимися электрофизическими свойствами, которые делают их все более актуальными в области СВЧ электроники. В условиях современных тенденций к миниатюризации электронных устройств и увеличению их функциональных возможностей, исследование электрофизических параметров тонких пленок SiC является ключевым для разработки новых высокочастотных компонентов, таких как усилители, фильтры и детекторы [1-4].

Целью данной работы являлось исследование электрофизических параметров тонких пленок карбида кремния, получаемых методом эндотаксии, в области сверхвысоких частот.

СВЧ методы измерения параметров полупроводников в большинстве случаев являются бесконтактными и неразрушающими. С помощью СВЧ методов могут быть определены такие важные параметры полупроводников, как удельная проводимость и диэлектрическая проницаемость [5].

В данной работе исследовались образцы структур карбид кремния на кремнии, полученные методом эндотаксии в проточном реакторе с охлаждаемыми стенками. Слои карбида кремния были выращены на кремниевых подложках размером 25х25 мм. Выращенные слои карбида кремния имели зеркальную поверхность. Толщина получаемых слоев SiC находилась в пределах от 3,5 до 4,0 мкм.

Измерения удельного сопротивления и диэлектрической проницаемости проводились волноводным методом на частоте 10 ГГц как с полным, так и с частичным заполнением сечения волновода. Удельное сопротивление рассчитывалось по измеренным значениям коэффициентов отражения и пропускания СВЧ волны. Диэлектрическая проницаемость определялась по изменению фазы прошедшей через образец волны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лучинин В., Таиров Ю. Карбид кремния — алмазоподобный материал с управляемыми наноструктурно-зависимыми свойствами // Наноиндустрия. — 2010, № 1. с. 36–40.
2. Мокеров В.Г. Наногетероструктуры в СВЧ-электронике. М.: Техносфера, 2010. — 435 с.
3. Курганская Л.В. Исследование гетероструктур карбида кремния в области сверхвысоких частот до 40 ГГц. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2009. Т. 12., № 1. С. 88-90.
4. Курганская Л.В. Технология получения гетероструктур p-SiC/ p-Si и исследование радиоэлектрического эффекта в 8 миллиметровом СВЧ — диапазоне. // Нано и микросистемная техника. - 2008. № 5. С. 37-40.
5. Измерение параметров полупроводников, микро и наноструктур на СВЧ Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Феклисов В.Б., Вениг С.Б. САРАТОВ 2012

ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF SILICON CARBIDE IN THE MICROWAVE REGION.

K.A. Medvedev, A.V. Shcherbak

*Samara National Research University,
(443086, Samara, Moskovskoye Shosse, 34)
e-mail: medwedevkirill@gmail.com*

Waveguide methods for measuring electrophysical parameters of semiconductors are considered. The distribution of the microwave wave electric field in front of the silicon carbide-on-silicon structure is measured.

Key words: silicon carbide, microwave, wave methods.

ЛАЗЕРНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БИМЕДИЦИНСКИХ РАМАНОВСКИХ СИСТЕМАХ

В.А. Мелехов

*Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева
(443086, Приволжский федеральный округ, Самарская область, г. Самара, Московское
шоссе, д. 34.)*

Разработана конструкция компактного стабилизированного лазерного модуля на основе диода с внешним брэгговским отражателем (VBG). Модуль генерирует узкополосное излучение с высокой спектральной чистотой, что критично для высокочувствительной Рамановской спектроскопии в биомедицине. Экспериментально исследована стабильность излучения в зависимости от мощности, тока накачки и температуры, выявлены и количественно оценены ключевые зависимости

Ключевые слова: лазерный модуль, Рамановская спектроскопия, биомедицинская диагностика, VBG-стабилизация, спектральная чистота, полупроводниковый лазерный диод, термостабилизация, неинвазивный анализ.

Рамановская спектроскопия является одним из наиболее перспективных методов неинвазивной диагностики в современной биомедицине, позволяющим анализировать молекулярный состав биологических тканей, идентифицировать патологические изменения и контролировать процессы в реальном времени. Ключевым элементом любой рамановской системы является лазерный источник, от стабильности параметров которого напрямую зависят точность, воспроизводимость и чувствительность измерений. Особенно критичны эти параметры для биомедицинских приложений, где работа ведется со сложными гетерогенными средами и слабыми сигналами. В данной работе представлены результаты разработки и исследования специализированного лазерного модуля, предназначенного для оснащения высокочувствительных рамановских спектрометров биомедицинского назначения.

Экспериментально исследована стабильность излучения разработанного модуля в зависимости от ключевых параметров: выходной мощности, тока накачки и температуры активной зоны. Проведенные измерения выявили и количественно оценили ключевые зависимости. Установлено, что использование VBG-стабилизации в сочетании с прецизионной системой терморегулирования позволяет снизить спектральную ширину линии и минимизировать ее температурный дрейф. Поддержание температуры на уровне 25°C обеспечило долговременную стабильность длины волны излучения, что является необходимым условием для проведения длительных и прецизионных биомедицинских измерений, таких как мониторинг кинетики биохимических реакций или многократные исследования одного и того же участка ткани.

Исследование зависимости выходной мощности от тока накачки показало высокую линейность характеристики в рабочем диапазоне до 600 мВт, что позволяет точно дозировать энергию, воздействующую на биологический образец, и избегать его фотоповреждения. Встроенный фотодиод мониторинга обеспечивает обратную связь по мощности, позволяя реализовать режим ее стабилизации. Компактная конструкция модуля, интегрирующая лазерный диод в корпусе «butterfly», плату управления и

систему охлаждения, обеспечивает простоту его интеграции в существующие рамановские системы, включая портативные и лабораторные спектрометры.

Таким образом, разработанный лазерный модуль представляет собой законченное решение для оснащения биомедицинских рамановских систем. Его ключевые преимущества — высокая спектральная чистота, стабильность параметров излучения, компактность и надежность.

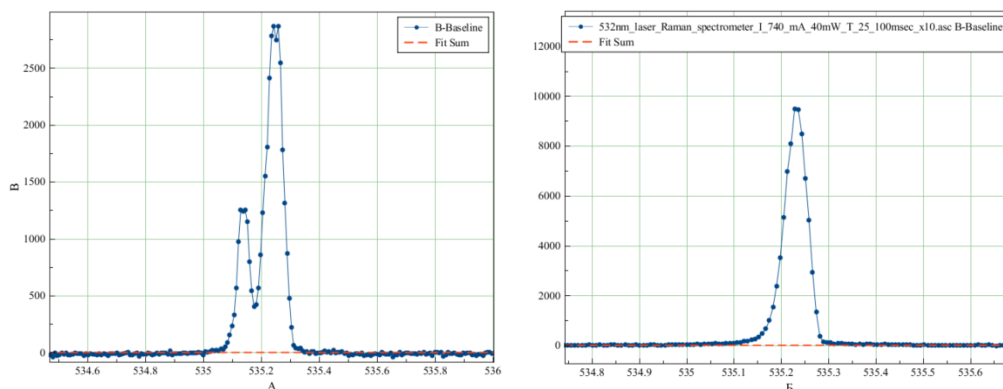


Рис. 1. Спектр лазерного диода с длиной волны 532 нм а) при температуре лазера 20°C б) при температуре 25°C

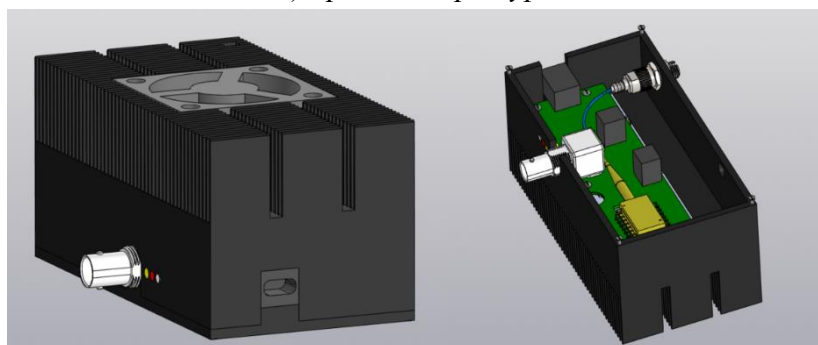


Рис. 2. 3D сборка лазерного модуля

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А.П., Иванов А.В. Исследование температурных характеристик полупроводниковых лазеров видимого диапазона // Вестник Марийского государственного университета. 2016. Т. 10, № 4. С. 697-704.
2. Evans J.W., Herrick R.W., Ueda O. Reliability of Semiconductor Lasers and Optoelectronic Devices. – Bellingham: SPIE Press, 2017. – 450 p. – (SPIE Press Monograph; Vol. PM298). – ISBN 978-1-5106-0894-3. – Главы 4-5 (стр. 113-238)

LASER MODULE FOR USE IN BIOMEDICAL RAMAN SYSTEMS

V.A. Melekhov

*Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev
(34 Moskovskoe shosse, Samara, Volga Federal District, Samara region, 443086.)*

The design of a compact stabilized laser module based on a diode with an external Bragg reflector (VBG) has been developed. The module generates narrow-band radiation with high spectral purity, which is critical for highly sensitive Raman spectroscopy in biomedicine. The stability of radiation as a function of power, pumping current, and temperature has been experimentally investigated, and key dependencies have been identified and quantified.

Keywords: laser module, Raman spectroscopy, biomedical diagnostics, VBG stabilization, spectral purity, semiconductor laser diode, thermal stabilization, non-invasive analysis.

**ПОЛЕВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ
МАГНИТОПЛАСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В СОСТАРЕННОМ
АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ В95пч**

Ю.В. Осинская, Д.Р. Нуретдинова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика

С.П. Королева

(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: ojv76@mail.ru

В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния напряженности постоянного магнитного поля на микротвердость состаренного алюминиевого сплава В95пч. Обнаружен отрицательный магнитопластический эффект, величина которого составляет 21 %. Установлен оптимальный режим термомагнитной обработки алюминиевого сплава В95пч.

Ключевые слова: алюминиевый сплав В95пч, магнитопластический эффект, постоянное магнитное поле.

Алюминиевые сплавы широко используются в различных отраслях, включая автомобильную и аэрокосмическую промышленность, благодаря своим уникальным физико-механическим свойствам, таким как малый удельный вес, высокая коррозионная стойкость и пластичность [1]. Однако для достижения оптимальных эксплуатационных свойств этих сплавов необходимы эффективные методы их обработки, одним из которых является процесс искусственного старения. В последние годы активно изучается влияние магнитных полей на физико-механические свойства различных материалов, в частности металлических сплавов, подвергнутых искусственному старению. Исследования показывают, что под действием магнитного поля изменяются микротвердость, внутреннее трение, предел прочности и другие макро- и микроскопические свойства металлических сплавов [2,3].

Образцы из алюминиевого сплава В95пч после предварительной закалки от 470 °С (выдержка 1 ч) в воду 20 °С старили при температуре 140 °С длительностью 4 ч в постоянном магнитном поле напряженностью от 1 до 7 кЭ и без него.

На рисунке 1 представлена полевая зависимость микротвердости исследуемого сплава от напряженности постоянного магнитного поля. Исходя из полученной зависимости, можно сделать вывод, что микротвердость алюминиевого сплава В95пч увеличивается до 21 %. Наблюдается отрицательный магнитопластический эффект [4]. Повышение напряженности постоянного магнитного поля от 1 до 7 кЭ приводит к увеличению микротвердости до 20 %.

Максимальное значение микротвердости сплава достигается при наложении постоянного магнитного поля напряженностью 7 кЭ на процесс старения этого сплава. Таким образом, оптимальным режимом старения алюминиевого сплава В95пч является время старения 4 ч, температура старения 140 °С, напряженность ПМП 7 кЭ.

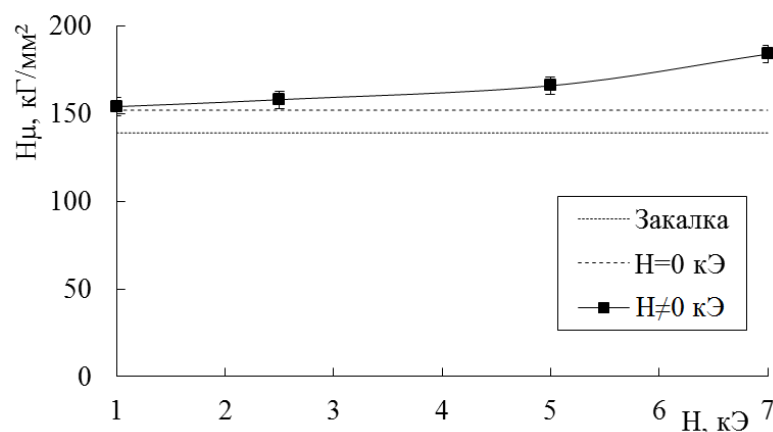


Рис. 1. Полевая зависимость микротвердости состаренного алюминиевого сплава B95пч

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.А. Белов, С.В. Савченко, А.В. Хван, Фазовый состав и структура силуминов: Справочное издание. // М.: МИСИС, 2008, 283 с.
2. Ю.В. Осинская, А.В. Покоев, С.Г. Магамедова, Влияние напряженности постоянного магнитного поля на процесс фазообразования в состаренном алюминиевом сплаве Al-Si-Cu-Fe. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2022, № 2, С. 80-84.
3. Z. Zhang, H. Huang, Z. Zhang, Y. Wang, B. Zhu, H. Zhao, A review of the microstructure and properties of superalloys regulated by magnetic field. // Journal of Materials Research and Technology, 2024, v. 30, P. 9285-9317.
4. Ю.И. Головин, Магнитопластичность твердых тел. // ФТТ, 2004, т. 46, в. 5, С.769–803.

FIELD DEPENDENCE OF THE PARAMETERS OF THE MAGNETOPLASTIC EFFECT IN AGED ALUMINUM ALLOY B95pч

J.V. Osinskaya, D.R. Nuretdinova

*Samara National Research University
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: ojv76@mail.ru*

The paper presents the results of an experimental study of the effect of constant magnetic field intensity on the microhardness of aged aluminum alloy B95pч. A negative magnetoplastic effect was found, the value of which is 21%. The optimal mode of thermomagnetic treatment of aluminum alloy B95pч was established.

Keywords: aluminum alloy B95pч, magnetoplastic effect, constant magnetic field.

ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ НА ОСНОВЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.С. Подтихова¹, Р.В. Скиданов¹, Г.В. Успенъев¹

¹Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: spodtikhova@yandex.ru

Представлена система из ДОЭ для осуществления управляемой временной задержки светового сигнала. Рассмотрены различные варианты с разным количеством пучков и разным пространственным расположением. Представлены результаты моделирования. Представлены результаты экспериментов по изготовлению ДОЭ.

Ключевые слова: оптика, оптические линии задержки, дифракционные оптические элементы

Самым простым методом многоканальной задержки светового сигнала является двух элементная схема, представленная на рисунке 1.

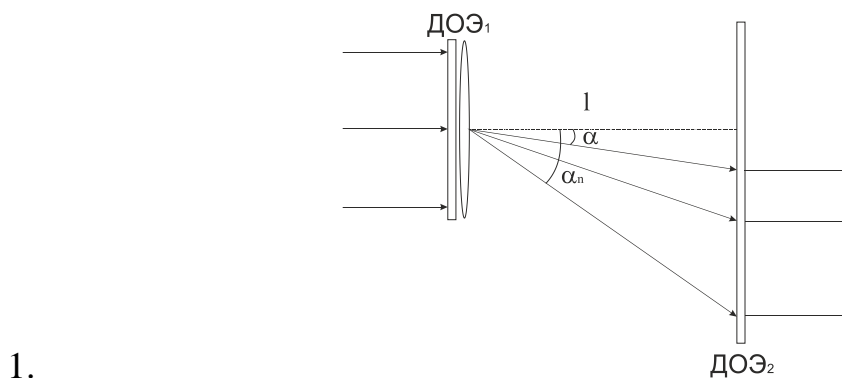


Рис.1. Оптическая схема для многоканальной задержки

Первый ДОЭ представляет собой делитель пучка, рассчитанный методом Герчберга – Секстона для эквидистантной задержки по времени.

Углы отклонения порядков задаются следующими формулами:

$$\alpha_n = \arccos \frac{\cos(\alpha)}{n - (n-1)\cos(\alpha)} \quad (1)$$

где α – угол на котором достигается минимальная задержка Δt , α_n – угол, на котором задержка составляет $n\Delta t$. Минимальный угол α определяется формулой:

$$\alpha = \arccos \frac{l}{l + \Delta l} \quad (2)$$

где Δl – разница между наклонным и прямым лучом, обеспечивающая задержку $\Delta t = \Delta l / c$, где c – скорость света.

На рисунке 2 (а) представлена фазовая функция ДОЭ для формирования 4 порядков под углами, соответствующими формуле 1. На рисунке 2 (б) представлено формируемое в дальней зоне распределение интенсивности.

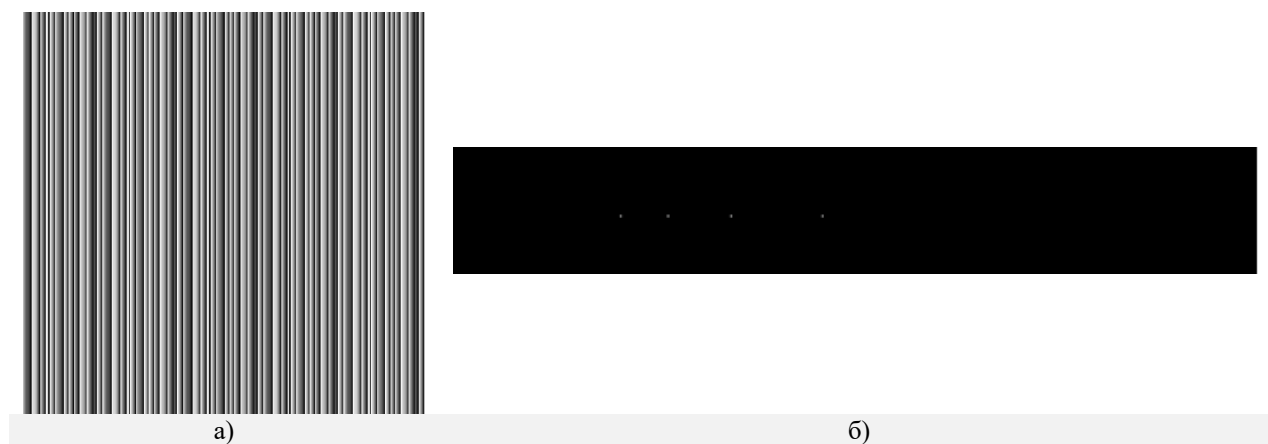


Рис. 2. Фазовая функция ДОО для формирования четырех порядков под углами, обеспечивающими эквидистантную по времени задержку

Второй ДОО представляет собой набор дифракционных решеток, которые по периоду подбираются таким образом, чтобы представленные на рисунке 2 (б) порядки распространялись вдоль оптической оси. Фазовая функция такого элемента представлена на рисунке 3.

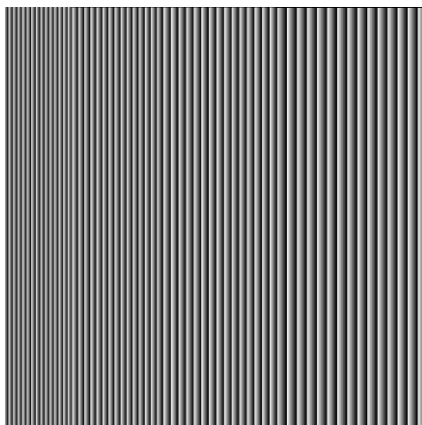


Рис. 3. ДОО для выпрямления распространения порядков на рисунке 2 (б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сойфер, В.А. Дифракционные оптические элементы в устройствах нанофотоники [Текст] / В.А. Сойфер, В.В. Котляр, Л.Л. Досколович // Компьютерная оптика. – 2009. – Т. 33, №4. – С. 352-368.

OPTICAL DELAY LINES BASED ON DIFFRACTION OPTICAL ELEMENTS

S.S. Podtikhova¹, R.V. Skidanov, G.V. Uspleniev¹

¹*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: spodtikhova@yandex.ru*

A DOE system for implementing a controlled time delay of a light signal is presented. Various variants with different number of bundles and different spatial arrangement are considered. The simulation results are presented. The results of experiments on the manufacture of DOE are presented.

Keywords: optics, optical delay lines, diffraction optical elements.

УДК 543.424.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДЛИННОСТИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ КАПТОПРИЛА ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ

М.Н. Раджабова, В.А. Жукова

*Самарский национальный исследовательский университет имени ак. Королева,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)*

e-mail: mradzabova2005@gmail.com

Фальсификация лекарств остается серьезной проблемой, поскольку часто контрафактные препараты сложно отличить от оригинальных. Хотя по данным Росздравнадзора, число изъятых лекарств снизилось с 1938 (2016 г.) до 540 (2020 г.), точность проведения экспресс-анализа методами ИК-спектроскопии и КР-спектроскопии остается актуальной.

Ключевые слова: спектр, каптоприл, аналитические полосы, спектроскопия

Целью данной работы является интерпретация спектра субстанции каптоприла и лекарственных препаратов, содержащих каптоприл, а также выяснение возможности количественного критерия подлинности препаратов. Решались следующие задачи:

1. Зарегистрировать и интерпретировать спектры субстанции и лекарственных форм каптоприла.
2. Оценить влияние вспомогательных веществ на спектры.
3. Разработать подход к количественной оценке подлинности препаратов.

Для регистрации спектров использовали PerkinElmer Spectrum 100 в диапазоне $4000\text{--}550\text{ см}^{-1}$. В качестве метода регистрации использовали метод НПВО. В качестве источника возбуждения использовался лазер с длиной волны 532 нм, мощностью 20 мВт, при времени экспозиции 500 мкс.

В данной работе исследовали препараты торговой марки «Каптоприл» девяти производителей: 1) Борисовский завод медицинских препаратов, 2) Самарская область ООО «Озон», 3) ООО «Пранафарм» г. Самара, 4) ООО Велфарм Курганская обл. г. Курган, 5) ПАО «Биосинтез» г. Пенза, 6) АО Алиум Московская обл. поселок Оболенск, 7) Производственная фармацевтическая компания Обновление, г. Новосибирск, 8) ООО «Фармакор Продакшн» г. Санкт-Петербург, 9) ООО «ЮжФарм» Россия. На рис.1. в качестве примера приведены Фурье спектры лекарственных препаратов каптоприла. Производителей 1-3.

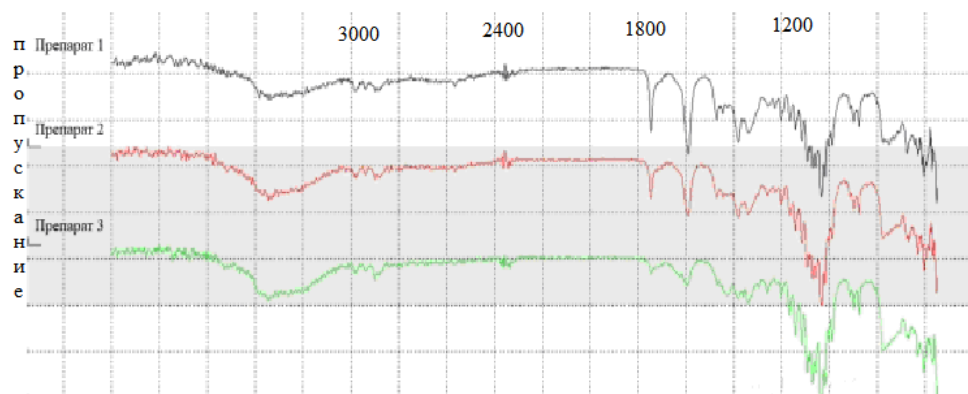


Рис.1. Фурье спектры препаратов каптоприла.

Анализ спектров каптоприла с помощью программы выявляет ряд характерных полос, имеющих важное диагностическое значение: валентные колебания О-Н при 3640

см⁻¹ валентные колебания карбонильных групп: интенсивная полоса карбоновой кислоты (1747 см⁻¹) и смещенная полоса амидной группы (1590 см⁻¹), валентные колебания S-H- группы - специфичная слабая полоса ~2570 см⁻¹, деформационные колебания C-OH: 1260-1440 см⁻¹ с характерной полосой 1410-1440 см⁻¹

Для получения таблетированных форм используют наполнители: лактозу, крахмал, повидон., полосы которых перекрываются с полосами каптоприла, их следует исключить из рассмотрения. В данном случае это полосы 1038, 881 и 750 см⁻¹.

Согласно фармакопейным нормам, отклонение интенсивности характеристических полос более 10% свидетельствует о снижении эффективности препарата. Анализ показал: что наблюдаются отклонения интенсивности полос 1748 и 1380 см⁻¹: более 10% только у препарата №3

Заключение

1. В работе была проведена интерпретация полос в ИК-спектре каптоприла, используя свойства характеристических частот.

2. Для девяти лекарственных препаратов марки «каптоприл» были выбраны аналитические полосы: 1748, 1590, 1471, 1446, 1380, 1340, 1229, 1201 для установления подлинности препаратов и рассчитан индекс достоверности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И. Дехант, Р. Данц, В.Киммер, Р. Шмольке. Инфракрасная спектроскопия полимеров. 1976.
2. Онучак Л.А., Васильева М. В., Кудашкина Е. В., Кураева Ю. Г. Колоночная и тонкослойная жидкостная хроматография гипотензивных лекарственных средств каптоприл, бисопросол, атенолол и амлодипин. 2011.
3. Чепило Д.Ф., Гегечкори В.И., Щепочкина О.Ю., Ефремов А.Ю., Левко А.А., Чадова Н.Н., Шестаков В.Н. Комплексный подход к определению подлинности при разработке стандартных образцов лекарственных препаратов ингибиторов АПФ. 2022
4. Цапенко А. А. Колебательные спектры, гипотензивных препаратов. 2024

DETERMINATION OF THE AUTHENTICITY OF CAPTOPRIL MEDICINAL PRODUCTS BASED ON SPECTRAL DATA

M.N. Radzhabova, V.A. Zhukova

Samara National Research University,

(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

Drug counterfeiting remains a serious problem, as counterfeit medications are often difficult to distinguish from genuine ones. Although Roszdravnadzor reports that the number of drug seizures has decreased from 1 938 in 2016 to 540 in 2020, the accuracy of rapid analysis using IR and Raman spectroscopy remains relevant.

Keywords: spectrum, captopril, analytical bands, spectroscopy

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР SiC/Si, ЛЕГИРОВАННЫХ РАДИОУГЛЕРОДОМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕМ ГАЗОВОМ ДАТЧИКЕ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Е.О. Савина¹, В.И. Чепурнов¹

¹Самарский национальный исследовательский университет
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: layzazas0209@gmail.com

Взаимодействие полупроводника с адсорбированными молекулами газа приводит к изменению проводимости. На основе этого эффекта делают газовые датчики. Газовые датчики работают при условии термоактивации в диапазоне температур от 150°C до 400°C. – это энергозатратное устройство, решение – использовать энергию радиоизотопного распада.

Ключевые слова: гетероструктуры p-n-SiC/n-Si, газовый чувствительный элемент, радиоуглерод.

В химическом датчике реализуется механизм взаимодействия основанный на прочной связи адсорбированных газовых молекул акцепторной или донорной природы с основными носителями полупроводника донорной или акцепторной природы. Концентрация свободных носителей в полупроводнике зависит от температуры или другого фактора активации – взаимодействия с электромагнитной волной, например бета-излучением радиоуглерода, легирующего полупроводниковую гетероструктуру SiC/Si. Проводимость пористой структуры карбида кремния изменяется согласно выражению $\sigma = e \cdot n \cdot \mu$.

Цель исследования: реализовать в чувствительном элементе датчика менее энергозатратный механизм активации.

Методика исследования заключается в учете влияния сопутствующего температурного фактора на изменение проводимости пористого карбида кремния изолированного от подложки гетеропереходом при тестировании адсорбции пробным газом. В данной работе решается несколько задач: измерение термометрической характеристики p-n-SiC/n-Si в вакуумной среде, т.к температура является влияющим фактором на показания газового датчика.

Тестируемым газом являлся ацетон. Построены диаграммы зависимостей для различных диапазонов температур зависимостей $\frac{\Delta R}{R} = f(P_{\text{паров газа}})$, где $\Delta R = R_{\text{вак}} - R_{\text{газа}}$, $R = R_{\text{вак}}$

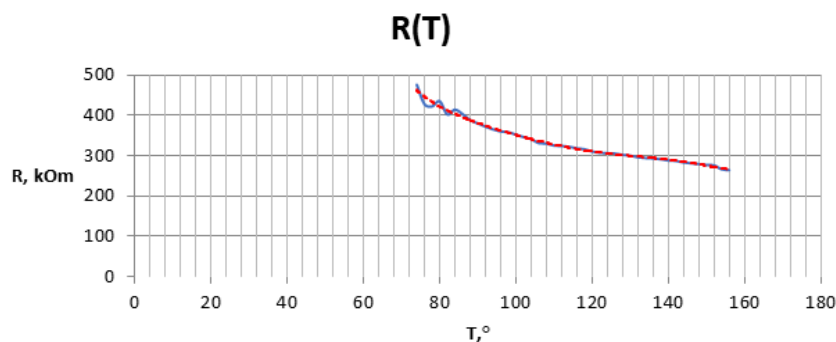


Рисунок 1 – график зависимости сопротивления чувствительного элемента от температуры в вакууме.

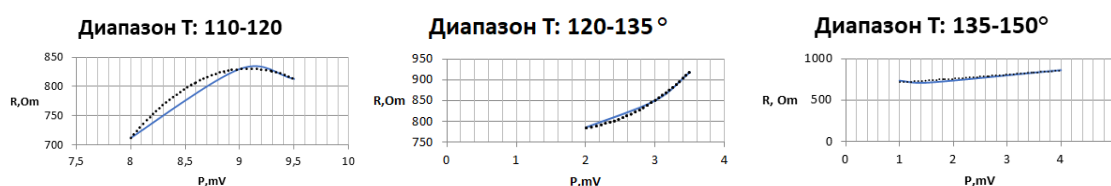


Рисунок 2 – графики зависимости сопротивления от давления при температурах 110-120°C, 120-135°C, 135-150°C.

В результате исследования показано, что газовая чувствительность датчика проявляется в диапазоне температур 135 - 150°C за счет активации адсорбции бета-излучением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нагорнов, Ю.С. Современные аспекты применения бетавольтаического эффекта: монография / Ю. С. Нагорнов. // Ульяновск: УлГПУ, 2012. – 113 с.
2. Булярский, С. В. Физика полупроводниковых преобразователей / под ред. Академика РАН, профессора А. Н. Саурова//Москва: РАН, 2018. – 280 с.

STUDY OF SiC/Si HETEROSTRUCTURES DOPED WITH RADIOCARBON FOR ENERGY CONVERTERS

E.O. Savina¹, V.I. Chepurnov¹

¹Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: layzazas0209@gmail.com

The interaction of a semiconductor with adsorbed gas molecules leads to a change in its electrical conductivity. This effect is used as the basis for gas sensors. Gas sensors operate under the condition of thermal activation within a temperature range of 150°C to 400°C. This is an energy-intensive device; the solution is to use the energy from radioisotope decay.

Keywords: por-n-SiC/n-Si heterostructures, gas sensing element, radiocarbon.

ВКЛАД СЛАБОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СВЕРХТОНКУЮ СТРУКТУРУ МЮОНИЯ В СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ

К.А. Середина¹, Ф.А. Мартыненко¹, А.П. Мартыненко¹

¹Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: ksiushaseredina1009@gmail.com

Вычислен вклад слабого взаимодействия в сверхтонкую структуру основного состояния мюония. Построен оператор взаимодействия мюона и электрона по амплитудам однобозонного и двухбозонного взаимодействия.

Ключевые слова: мюоний, сверхтонкая структура спектра, слабое взаимодействие.

Мюоний представляет собой чисто лептонный атом, лишенный внутренней структуры. На протяжении многих десятилетий эта система была и остается одной из наиболее подходящих для проверки квантовой электродинамики, Стандартной Модели (СМ) и поиска физики за пределами Стандартной Модели.

Исследование сверхтонкой структуры основного состояния мюония представляет собой одну из центральных задач в физике простейших связанных состояний частиц. В настоящее время теория предсказывает следующее значение сверхтонкого расщепления основного состояния в мюонии [1]:

$$\Delta E_{\text{th}}^{\text{hfs}} = 4463302872(515) \text{ Гц}, \delta = 1.3 \cdot 10^{-7}, \quad (1)$$

где большая часть неопределенности (511 Гц) обусловлена измерением отношения масс лептонов m_μ/m_e (120 ppb). Поэтому из сравнения теоретических и новых экспериментальных результатов для СТС мюония можно получить более точное значение для массового отношения m_μ/m_e .

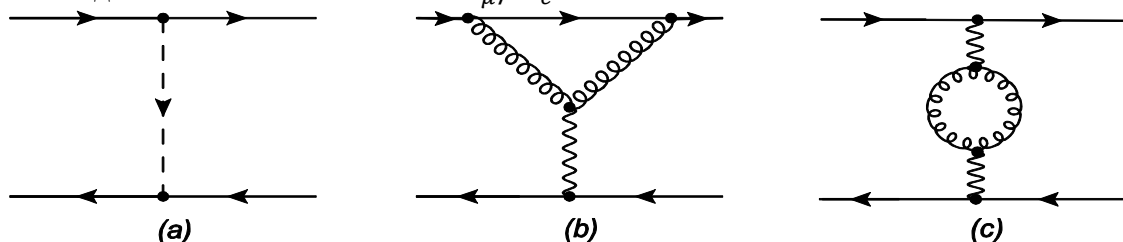


Рис. 1. Амплитуда однобозонного взаимодействия и однофотонного взаимодействия с вершинной и собственно-энергетической поправкой. Пунктирная линия обозначает Z-бозон, волнистая линия обозначает фотон.

Целью коллаборации MuSEUM является точное измерение сверхтонкого расщепления основного состояния атомов мюония с точностью 1 ppb [2,3]. В мюонном научном центре J-PARC (MUSE) коллаборация MuSEUM проводит новые прецизионные измерения сверхтонкой структуры (СТС) основного состояния атомов мюония и мюонного гелия. Высокоточные измерения СТС основного состояния мюония признаны одним из самых чувствительных инструментов для проверки теории квантовой электродинамики связанных состояний, позволяющих точно исследовать Стандартную Модель. Если вклад электромагнитного взаимодействия частиц в мюонии изучен уже с высокой точностью (поправки 7-8 порядка по постоянной тонкой структуры), то вклад слабого взаимодействия в этой системе исследован в значительно меньшей степени. В данной работе выполнены расчеты амплитуд слабого взаимодействия, представленных

на рис. 1-3.

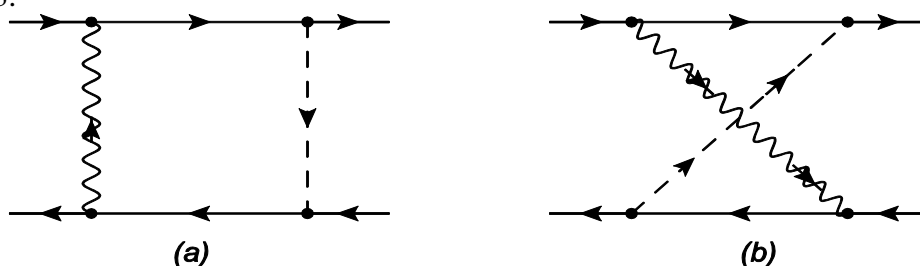


Рис. 2. Амплитуда фотонного и Z-бозонного взаимодействия.

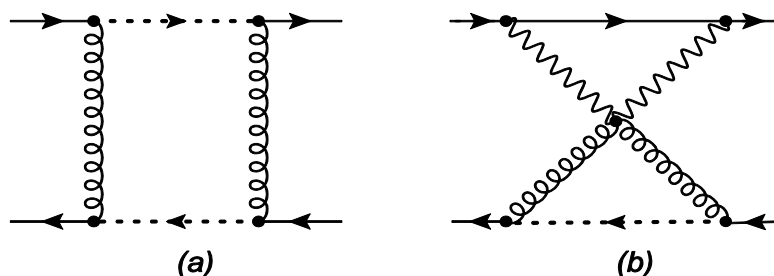


Рис. 3. Амплитуды W -бозонного взаимодействия. Пунктирная линия в промежуточном состоянии обозначает нейтрино.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант РНФ No. 25-72-00029).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

7. M. Eides, Hyperfine splitting in muonium: Accuracy of the theoretical prediction, Phys. Lett. B **795**, 113 (2019).
8. R. Iwai et al. Precise measurement of the hyperfine splitting in muonium with a high intensity pulsed muon beam at J-PARC, J. Phys. Conf. Ser. **2462**, 012019 (2023).
9. P. Strasser et al. Precision measurements of muonium and muonic helium hyperfine structure at J-PARC, Eur. Phys. J. D (2025) **79**:20.

CONTRIBUTION OF WEAK INTERACTION TO THE HYPERFINE STRUCTURE OF MUONIUM IN THE STANDARD MODEL

K.A. Seredina¹, F.A. Martynenko¹, A.P. Martynenko¹

¹Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: vorontsoven@fian.smr.ru

The contribution of the weak interaction to the hyperfine structure of the ground state of muonium is calculated. The muon-electron interaction operator is constructed from the amplitudes of the one-boson and two-boson interactions.

Keywords: muonium, hyperfine structure, weak interaction.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РЕАКЦИИ C_7H_7+OH Е.В. Скопцова¹, А.А. Кузнецова², И.О. Антонов^{1,2}¹Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)²Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)e-mail: lizascop88@gmail.com

В данной работе представлены результаты квантово-химического исследования механизма реакции бензил-радикала и гидроксильного радикала. Расчёты выполнены на уровне теории wb97xd/6-311g(d,p). Рассчитанная поверхность потенциальной энергии позволяет установить основные пути реакции, ведущие к образованию продуктов в условиях горения.

Ключевые слова: горение, окисление, бензил-радикал, толуол.

Бензил-радикал (C_7H_7) является ключевым соединением, которое образуется в реакциях окисления и пиролиза толуола. Толуол — моноциклический ароматический углеводород, служащий модельной молекулой в изучении реакций пиролиза и окисления углеводородов, широко применяется в промышленности, а также входит в состав бензина. Изучение реакционных путей бензил-радикала способствует разработке экологически чистых и энергоэффективных систем сжигания топлива. Реакция бензил-радикала с гидроксильным радикалом (ОН) привлекает особое внимание исследователей, поскольку именно ОН-радикалы играют важную роль в механизме процессов горения.

В данной работе представлены результаты квантово-химического исследования реакции окисления бензил-радикала с гидроксильным радикалом. Полученные данные позволяют уточнить кинетические модели горения и прогнозировать образование продуктов окисления в реальных условиях.

Квантово-химические расчёты выполнены с использованием программного пакета Gaussian 09 [1]. Оптимизация геометрий и нахождение молекулярных параметров стационарных и переходных состояний было реализовано с использованием гибридного функционала плотности wb97xd и базисного набора Попла 6-311g(d,p).

Поверхность потенциальной энергии исследуемой реакции представлена на рисунке 1. Реакция начинается с безбарьерного образования двух входных интермедиатов w_{a3} и w_g , формирующихся в результате присоединения гидроксильного радикала к различным радикальным центрам в молекуле бензил-радикала. При исследовании данных интермедиатов было найдено несколько возможных конформеров, отличающихся поворотами вокруг одинарных связей. Поскольку конформеры оказались разделены торсионными барьерами величиной менее 3 ккал/моль, вращение вокруг данных связей можно считать свободным. Для дальнейшего анализа был выбран наиболее низколежащий по энергии конформер.

В результате многократной изомеризации интермедиатов реакция приводит к следующим продуктам: P_1 (1,3-циклогексадиен + CO), P_2 (1,3,5-гексатриен + CO), P_3 (бицикло[3,1,0]гекса-2,6-диен + формальдегид CH_2O), P_4 (циклогекса-1,3-диен-4-илиден + формальдегид CH_2O), P_5 (фенол + метилен CH_2). В условиях высокого давления и низких температур ожидается образование и стабилизация бензилового спирта. В условиях низких давлений и высоких температур реакция будет протекать по

конкурирующим реакционным путям с образованием бимолекулярных продуктов преимущественно с отрывом СО. Эти данные могут быть использованы для уточнения кинетических моделей сгорания толуола, способствуя разработке более экологичных технологий сжигания топлива.

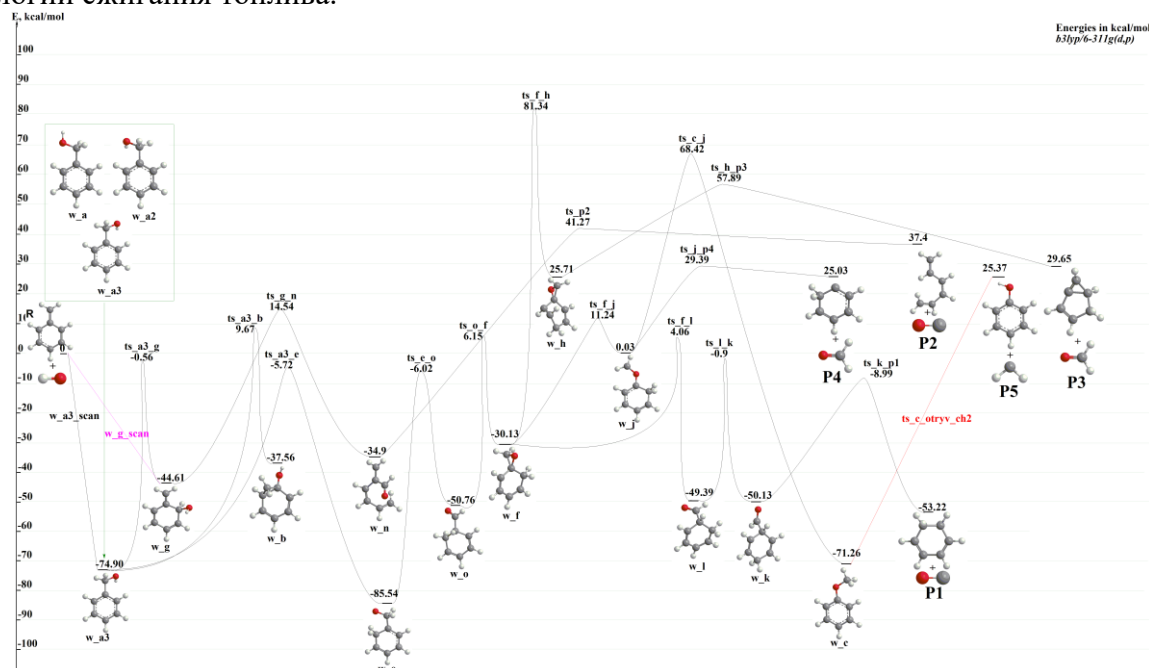


Рис. 1. Поверхность потенциальной энергии реакции $C_7H_7 + OH$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Frisch M., Clemente F. MJ Frisch, GW Trucks, HB Schlegel, GE Scuseria, MA Robb, JR Cheeseman, G // Scalmani, V. Barone, B. Mennucci, GA Petersson, H. Nakatsuji, M. Caricato, X. Li, HP Hratchian, AF Izmaylov, J. Bloino and G. Zhe, Gaussian. – 2009. – Т.9.

THEORETICAL STUDY OF THE REACTION MECHANISM OF $C_7H_7 + OH$

E.V. Scoptsova¹, A.A. Kuznetsova², I.O. Antonov^{1,2}

¹Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

²Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

e-mail: lizascop88@gmail.com

This paper presents the results of a quantum chemical study of the reaction mechanism of benzyl radical with hydroxyl radical. The calculations were performed using the wb97xd/6-311g(d,p) level of theory. The calculated potential energy surface allows us to establish the main reaction pathways leading to the formation of products under combustion conditions.

Keywords: combustion, oxidation, benzyl radical, toluene.

АУГМЕНТАЦИЯ СПЕКТРОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СЫВОРОТКИ КРОВИ

Е.В. Сорокина, Ю.А. Христофорова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика

С.П. Королева,

(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: hellitio15@gmail.com

Аннотация — в данной работе выполнено расширение набора спектральных данных как промежуточный этап для обучения нейронных сетей. Проведена проверка качества аугментированных данных посредством проекции их в пространство признаков и последующего сравнения статистических характеристик исходных и преобразованных выборок.

Ключевые слова: аугментация данных, спектр комбинационного рассеяния.

Спектральный анализ с использованием машинного обучения часто сталкивается с существенным ограничением в виде недостаточного количества данных. Способом преодолеть это ограничение является создание синтетических данных [1].

Цель данной работы – провести аугментацию спектров комбинационного рассеяния сыворотки крови пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) и доноров с последующей проверкой качества аугментации с помощью статистических методов.

При генерации данных использовались следующие методы. Добавление сдвига по оси волновых чисел, которое позволит при обучении сети научиться игнорировать незначительные колебания калибровки. Добавление искажения по оси Y и белого шума, что в дальнейшем позволит сети справляться с некачественно выполненной предобработкой данных. Сложение двух исходных спектров группы с использованием весового коэффициента для получения нового. Комбинация этих трех методов аугментации позволяет значительно увеличить эффективность машинного обучения.

В ходе аугментации исходные группы пациентов с I стадией ХСН (122 спектра), II стадией (86 спектров) и контрольной группы (81 спектр) были увеличены в 3 раза. Пример аугментированного и исходного спектра представлен на рисунке 1.

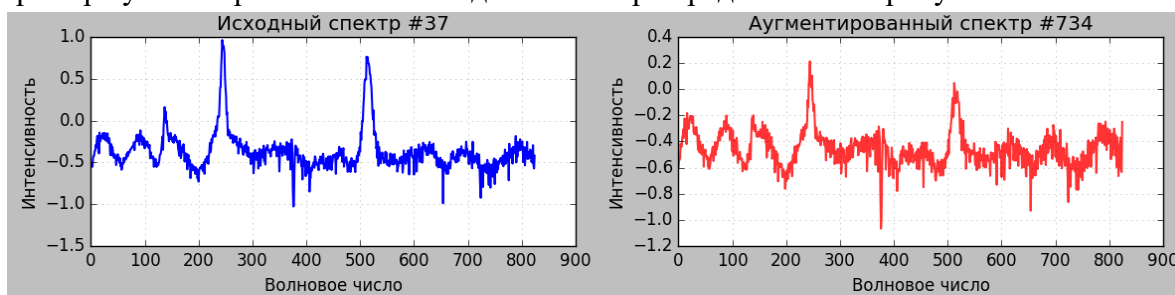


Рис.1 – сравнение исходного и аугментированного спектра

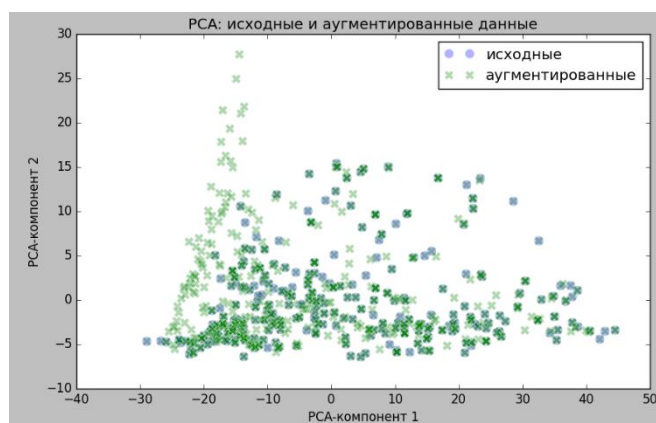


Рис.2 – сравнение исходных и аугментированных данных в пространстве признаков
PCA

Полученные в ходе аугментации спектры комбинационного рассеяния сыворотки крови могут применяться в дальнейшем исследовании, т.к. они сохраняют характерные пики исходных спектров, совпадают с ними в пространстве признаков при разложении с помощью метода главных компонент (рисунок 2), а также средние значения и средние квадратичные отклонения выборок имеют корреляцию больше 0,95, что свидетельствует о сохранении формы распределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yuhao Zhu, Haoyu Su, etc. Data augmentation using continuous conditional generative adversarial networks for regression and its application to improved spectral sensing. // Opt. Express 31, 37722-37739, 2023. <https://doi.org/10.1364/OE.502709>.
2. Man Wu1, Shuwen Wang1, etc Deep learning data augmentation for Raman spectroscopy cancer tissue classification. Scientific Reports, 2021. DOI:10.1038/s41598-021-02687-0

AUGMENTATION OF BLOOD SERUM RAMAN SPECTRA

E.V. Sorokina, Y.A Khristoforova

*Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: hellitio15@gmail.com*

Abstract — in this paper, the spectral data set is expanded as an intermediate stage for training neural networks. The quality of the augmented data was checked by projecting them into the feature space and then comparing the statistical characteristics of the original and transformed samples.

Keywords: data augmentation, Raman spectrum.

КАНАЛЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ ЦИАНОАЦЕТИЛЕНА С МЕТИЛИДИНОМ

А.А. Столбоушкина¹, Л.И. Крикунова^{1,2}, В.Н. Азязов^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королёва,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

²Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

e-mail: astolboushkina@gmail.com

В данной работе для реакции ацетонитрила (HCCCN) с метиновым радикалом найдены новые энергетически выгодные каналы протекания реакции. Для всех структур найдены оптимальные геометрии, частоты колебаний и значения потенциальных энергий на уровне теории функционала плотности с гибридным методом ω B97xd/cc-pvtz.

Ключевые слова: метиновый радикал, ацетонитрил, теория функционала плотности, поверхность потенциальной энергии.

Азотсодержащие органические молекулы, являющиеся прекурсорами пребиотических соединений, обнаруживаются в различных галактических объектах: от молекулярных облаков и областей звездообразования до комет и планет [1-4]. Их синтез в условиях, имитирующих раннюю Землю, был продемонстрирован в знаковом эксперименте Миллера и Юри, получивших, в частности, цианоацетилен (HCCCN) [5]. На Земле в качестве источников цианоацетилена, служат процессы горения биомассы и топлив [6], а также пиролиз ископаемых углей, содержащих азотистые ароматические структуры [7]. Отдельного внимания заслуживает простейший метиновый радикал (CH), широко распространенный в космосе [8].

Оптимизированы геометрии реагентов, интермедиатов, переходных состояний, и продуктов реакции, а также найдены колебательные частоты с использованием гибридного метода теории функционала плотности ω B97xd/cc-pVTZ. Расчет кинетических констант произведен в рамках теории Райса-Рампергера-Касселя-Маркуса (РРКМ) в пределе нулевого давления. Данные, полученные в пределе одиночных столкновений, свидетельствуют о преобладании линейных продуктов и, в частности, наибольший выход в реакции имеет молекула синильной кислоты. Нельзя исключать также из рассмотрения сопутствующие радикалы, единичные столкновения с которыми также представляют интерес для астрохимии.

Работа В. Н. Азязова была поддержана Российским научным фондом (грант № 25-22-00409).

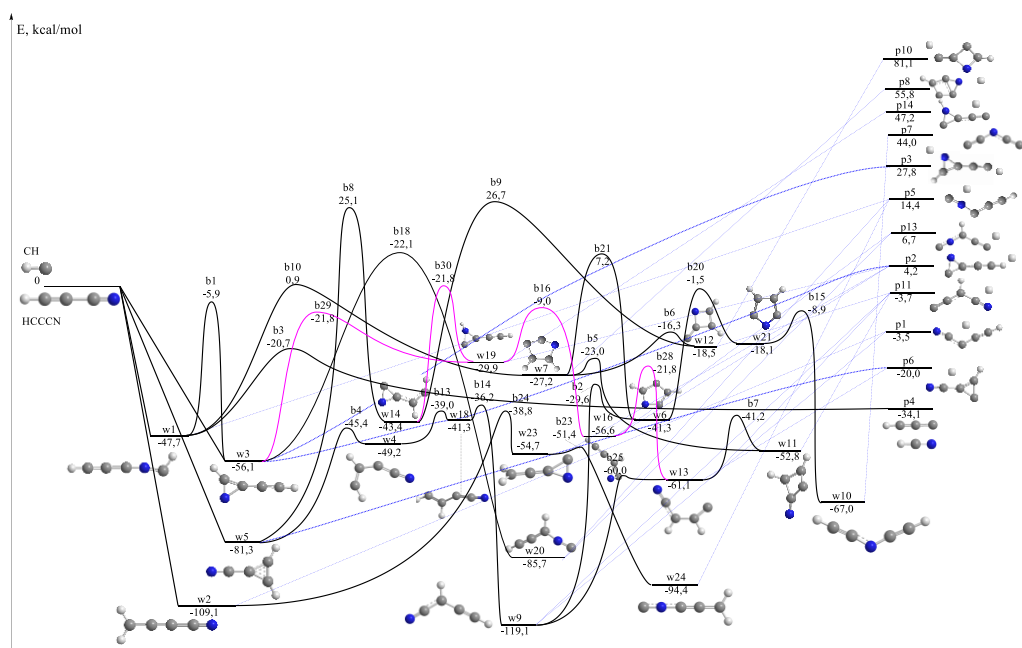


Рис. 1. Поверхности потенциальной энергии цианоацетилена с метиновым радикалом $\text{HCCCN} + \text{CH}$ дополненная новыми реакционными каналами

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Hänni, N., Altwegg, K., et al. (2021). Cyanogen, cyanoacetylene, and acetonitrile in comet 67P and their relation to the cyano radical. *Astronomy & Astrophysics*, 647, A22.
- [2] Trokhimovskiy, A., Fedorova et al. (2024). Revised upper limits for abundances of NH_3 , HCN and HC_3N in the Martian atmosphere. *Icarus*, 407, 115789.
- [3] Mondal, S. K., et al. (2023). Investigating the hot molecular core, G10.47+ 0.03: A pit of nitrogen-bearing complex organic molecules. *Astronomy & Astrophysics*, 669, A71.
- [4] Nixon, C. A. (2024). The Composition and Chemistry of Titan's Atmosphere. *ACS Earth and Space Chemistry*, 8(3), 406-456.
- [5] S.L. Miller, H.C. Urey, Organic compound synthesis on the primitive earth. *Science journal*. (1959)-July (vol. 130, no. 3370).
- [6] Osipova, K. N., Sarathy, S. M., Korobeinichev, O. P., & Shmakov, A. G. (2022). Chemical structure of premixed ammonia/hydrogen flames at elevated pressures. *Comb. and Flame*, 246, 112419.
- [7] Ledesma, E. B., Li, C. Z., Nelson, P. F., & Mackie, J. C. (1998). Release of HCN , NH_3 , and HNCO from the thermal gas-phase cracking of coal pyrolysis tars. *Energy & fuels*, 12(3), 536-541.
- [8] Kaiser, R. I., & Hansen, N. (2021). An aromatic universe—A physical chemistry perspective. *The Journal of Physical Chemistry A*, 125(18), 3826-3840.

REACTION CHANNELS IN THE CYANOACETYLENE – METHYLIDYNE SYSTEM

A.A. Stolboushkina¹, L.I. Krikunova^{1,2}, V.N. Azyazov^{1,2}

¹Samara National Research University, (34, Moskovskoye Shosse, Samara, 443086, Russia)

²Samara Branch, P.N. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences,
(221, Novo-Sadovaya St., Samara, 443011, Russia)
e-mail: astolboushkina@gmail.com

This work identifies new energetically favorable reaction channels for the system involving cyanoacetylene (HCCCN) and the methylidyne radical (CH). The optimal geometries, vibrational frequencies, and potential energies for all structures were calculated using density functional theory with the hybrid ωB97xd functional and the cc-pVTZ basis set.

Keywords: methylidyne radical, cyanoacetylene, density functional theory, potential energy surface.

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ БОРА ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

**К.О. Фомин^{1,2}, А.А.Фроня^{1,2}, К.С. Перваков², Д.С. Петруня², М.С. Григорьева²,
И.Н. Завестовская^{1,2,3}**

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31)*

² *Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук
(119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53)*

³ *НИЦ Курчатовский институт
(123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1)
e-mail: fominenokml@gmail.com*

Аннотация: Изотоп бора-10 является главным материалом при проведении бор-нейтронно захватной терапии онкологических заболеваний. Представленная работа посвящена получению коллоидных растворов наночастиц бора-11 и бора-10 в изопропаноле методом размол исходных микронных порошков на планетарной шаровой мельнице. Эксперименты проводились при различных режимах размол для определения оптимальных условий с точки зрения размерного и качественного состава раствора синтезируемых частиц.

Ключевые слова: наночастицы, бор-10, бор-11, изопропанол, планетарная шаровая мельница, механический помол.

Бор-нейтронозахватная терапия – это метод радиотерапии для лечения рака, основанный на накоплении в злокачественных опухолях стабильного изотопа бор-10 с последующим облучением тепловыми нейтронами. Стоит задача разработки эффективных методов производства формуляций бора-10, применимых в задачах БНЗТ. Одно из направлений предполагает синтез наноразмерных частиц бора-10, что улучшит проникновение бора внутрь клетки опухоли, приведет к лучшему накоплению малых концентраций, и позволит усилить эффект БНЗТ.

Одним из методов создания наночастиц бора-10 для БНЗТ на сегодня является лазерная фрагментация [1]. Однако данный метод требует предварительно измельченных частиц до субмикронных размеров. Данная работа посвящена проверке применимости метода механического помола микронных частиц на планетарной шаровой мельнице для создания коллоидных растворов бора.

Первичные эксперименты были проведены на порошке бора-11. Помол производился в жидкой среде (изопропанол). На основе данных, полученных при измельчении бора-11, сделаны выводы о необходимых параметрах и времени измельчения, которые оптимальны с точки зрения размерного и качественного состава формируемого раствора наночастиц. После чего при выбранных условиях произведен помол бора-10.

Раствор успешно прошёл проверку на содержание примесей и однородность, что доказывает возможность использования метода помола в качестве промежуточного этапа при синтезе частиц для БНЗТ. Методом механического измельчения на

планетарной шаровой мельнице были получены субмикронные частицы (порядка сотен нанометров), которые хорошо подходят для дальнейшей лазерной фрагментации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-62-00018.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

10. Aiyzyzhy, K.O., Savinov, M.S., Tikhonovsky, G.V. et al. The Effect of Pulse Duration on Properties of Boron Nanoparticles Produced by Laser Fragmentation of Micropowders in Liquids. Bull. Lebedev Phys. Inst. 51 (Suppl 11), S962–S968 (2024). <https://doi.org/10.3103/S1068335624602784>

SYNTHESIS OF BORON NANOPARTICLES FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

K.O. Fomin^{1,2}, A.A. Fronya^{1,2}, K.S. Pervakov², D.S. Petrunya², M.S. Grigoryeva², I.N. Zavestovskaya^{1,2,3}

¹*National Research Nuclear University "MEPhI"*
(31 Kashirskoe Shosse, Moscow, 115409)

²*Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences*
(53 Leninsky Prospekt, Moscow, 119991)

³*Kurchatov Institute Research Center*
(1 Akademika Kurchatov Square, Moscow, 123182)

e-mail: fominenokml@gmail.com

Abstract: The boron-10 isotope is a key material in boron neutron capture therapy for cancer. This study focuses on the production of colloidal solutions of boron-11 and boron-10 nanoparticles in isopropanol by milling the initial micron-sized powders in a planetary ball mill. Experiments were conducted under various milling conditions to determine the optimum for the size and qualitative composition of the synthesized particle solution.

Keywords: nanoparticles, boron-10, boron-11, isopropanol, planetary mill, grinding method.

ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОЙ ЗАДЕРЖКИ ДЕГИДРАТИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Д.А. Чабуркин^{1,2}, С.П. Котова²

¹ Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

² Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН,
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

e-mail: chaburkin.daniel@smr.lebedev.ru

Представлены результаты по изучению возможностей визуализатора фазового сдвига Thorlabs LCC7201B для задач биомедицинского профиля. Получены изображения в поляризованном свете дегидратированных слезной жидкости человека и смешанной слюны крупного рогатого скота. Определена фазовая задержка полученных кристаллизованных структур.

Ключевые слова: клиновидная дегидратация, слезная жидкость, смешанная слюна, фазовая задержка, визуализация распределения фазы.

В современных исследованиях все чаще приходят к использованию биологических жидкостей для детектирования различных заболеваний [1]. Среди таких жидкостей выделяют слезную и ротовую жидкости. В данной работе представлены результаты наших работ, посвященных измерению фазового сдвига дегидратированных структур биологических жидкостей.

Измерения фазового сдвига выполняли с помощью визуализатора Thorlabs LCC7201B. Он позволяет измерять набег фазы в диапазоне от 0 до π для длины волны 633 нм, с точностью $9,93 \times 10^{-6}$ рад. Точность прибора обусловлена интерферометрическим методом с дополнительным внесением разности фаз между интерферирующими пучками. Выполнена оценка изменения показателя преломления дегидратированных жидкостей, которая может быть выявлена данным методом при патологии.

Все измерения проводились по методу 5 точек, часто используемому в доказательной медицине для анализа кристаллизованных структур биологических жидкостей. в четырех краевых (в аморфной зоне) и одной центральной (солевая зона) точках.

Были исследованы и обработаны 103 образца слезной жидкости человека, 17 образцов плазмы крови человека и 17 образцов слюнной жидкости рогатого скота. Для каждой биологической жидкости были построены гистограммы значений фазового сдвига. На гистограмме для слезной жидкости видны различия более чем в 1.5 раза в фазовой задержке между группой контроля и группой 2, соответствующей людям с диагнозом «диабет».

Помимо слезной жидкости, были проведены пробные измерения фазовой задержки смешанной слюны рогатого скота. В исследовании слюны были набраны группы

«контроля» и «маститы». Однако величины фазовой задержки между группами оказались практически неразличимы.

Выражаем благодарность Неупокоевой А. В., Девяткину А. А. и Исхаковой А. Г. за предоставленные образцы биологических жидкостей и помощь в проведении статистической обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Park M. GRAIL announces positive new data with multi-cancer early detection blood test from CCGA study. // GRAIL Press Release, Chicago, 2019.
2. Chaburkin D.A., Kotova S.P., Devyatkin A.A., Iskhakova A.G. Phase Retardation for Dehydrated Human Tears Fluid Samples in Diabetes Mellitus. // Journal of Biomedical Photonics & Engineering, Vol. 11, Issue 4, Article number 040302, 2025. DOI: 10.18287/JBPE25.11.040302.

STUDY OF PHASE DELAY OF DEHYDRATED SAMPLES OF BIOLOGICAL FLUIDS

D.A. Chaburkin^{1,2}, S.P. Kotova²

¹ *Samara National Research University,
(34 Moskovskoe shosse str., Samara, Russia, 443086)*

² *Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(221, Novo-Sadovaya Str., Samara, Russia, 443011)*

e-mail: chaburkin.daniel@smr.lebedev.ru

The results of the study of the possibilities of the phase shift visualizer Thorlabs LCC7201B for tasks of the biomedical profile are presented. Images in polarized light of dehydrated human tear fluid and mixed saliva of cattle are obtained. The phase delay of the obtained crystallized structures is determined.

Keywords: wedge-shaped dehydration, tear fluid, mixed saliva, phase delay, phase distribution visualization.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ МЕЖДУ ЭНТРОПИЙНЫМИ И МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИМИ МОДАМИ В ВОЗМУЩЕНИЯХ СЖАТИЯ, ИНДУЦИРОВАННЫХ В ОСНОВАНИИ КОРОНАЛЬНОЙ ПЕТЛИ

Р.В. Шевелев¹, Д.И. Завершинский^{1,2}

¹ Самарский национальный исследовательский университет,
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

² Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)
e-mail: RomanSheve@yandex.ru

С помощью точного решения эволюционного уравнения для энтропийных и медленных магнитоакустических волн исследованы свойства спектрального состава возмущения сжатия, заданного на границе. Показано, что распределение энергии между модами зависит не только от типа возмущения, но и напрямую зависит от процессов нагрева/охлаждения и соответствующего им режима теплового дисбаланса.

Ключевые слова: Солнце, МГД-сейсмология, тепловой дисбаланс.

Определение механизма нагрева солнечной короны является одной из важнейших проблем солнечной физики. Одним из путей его определения является применение методов МГД – сейсмологии. Благодаря тому, что нагрев плазмы может косвенно влиять на дисперсионные свойства магнитоакустических (МА) волн, в рамках эффекта теплового дисбаланса [1,2], возможно вводить ограничения на вид функции мощности нагрева [3]. Однако, тепловой дисбаланс влияет не только на свойства волн, но также и на распределение энергии между модами возмущения сжатия. Наблюдения возмущений сжатия в корональных петлях показывают, что часто они могут возникать у основания петли [4]. Для описания распределения энергии в таких возмущениях необходимо решение граничной задачи для эволюционного уравнения.

Используя теорию возмущений, полагая слабое влияние теплопроводности, вязкости и гравитационной стратификации, из МГД уравнений можно получить эволюционное уравнение для плазмы в сильном магнитном поле ($\beta \ll 1$) в виде:

$$\frac{\partial^3 u_1}{\partial t^3} - C_s^2 \frac{\partial^3 u_1}{\partial t \partial z^2} = -\frac{1}{\tau_2} \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} - C_{sQ}^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где u_1 – возмущение скорости, C_s – адиабатическая скорость звука, $C_{sQ} = C_s \sqrt{\gamma \tau_2 / \tau_1}$ – скорость звука, связанная с тепловым дисбалансом, $\tau_1 = c_p / (dQ/dT)_p$ и $\tau_2 = c_v / (dQ/dT)_p$ – характерные времена теплового дисбаланса, Q – функция теплотер. Будем использовать следующие граничные условия:

$$u_1(0, t) = g(t), \quad u_1(l, t) = 0, \quad (2)$$

где $g(t)$ и $h(t)$ – произвольные гладкие функции. Аналитическое решение граничной задачи первого рода может быть представлено как:

$$u_1(z, t) = S(z, t) + \int_0^t \bar{S}(z, t-s) ds + U(z, t), \quad (3)$$

где S и \bar{S} – частные решения задачи (1) с нулевыми граничными условиями, а U – вспомогательная функция, удовлетворяющая заданным граничным условиям (2).

Для двух типов возмущений (импульсного и гармонического) было исследовано влияние значений характерных времен τ_1 и τ_2 на распределение энергии между модами в условиях тепловой устойчивости среды $\tau_1/9 < \tau_2 < \tau_1$ [1,3]. Показано, что в случае импульсного возмущения $g(t) = Ate^{-\alpha t}$ на одной из границ изменение значений времен, может приводить к существенному перераспределению энергии между модами. При увеличении характерных времен наблюдается резкое увеличение энергии, запасённой в энтропийных модах. В случае гармонического сигнала $g(t) = B\sin(\omega t)$, эффект перераспределения выражен значительно слабее и большая часть энергии возмущения запасена в виде МА волн.

Работа частично поддержана в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проекты FSSS-2023-0009, FFMR-2024-0017).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Field G.B. Thermal Instability // *Astrophys. J.* 1965. Vol. 142. P. 531–567.
2. Molevich N.E., Oraevskii A.N. Second viscosity in thermodynamically nonequilibrium media // *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 1988. Vol. 94, № 3. P. 128–132.
3. Zavershinskii D. et al. Mixed Properties of Slow Magnetoacoustic and Entropy Waves in a Plasma with Heating/Cooling Misbalance // *Sol. Phys.* 2021. Vol. 296, № 6. P. 96.
4. Taroyan Y. et al. Footpoint excitation of standing acoustic waves in coronal loops // *Astron. Astrophys.* 2005. Vol. 438. P. 713.

PROPERTIES OF ENERGY DISTRIBUTION BETWEEN ENTROPY AND MAGNETOACOUSTIC MODES IN COMPRESSION PERTURBATIONS INDUCED AT THE FOOTPOINT OF A CORONAL LOOP

R.V. Shevelev¹, D.I. Zavershinskii^{1,2}

¹ *Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

² *Lebedev Physical Institute, Samara Branch
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

e-mail: RomanSheve@yandex.ru

Using an exact solution of the evolutionary equation for entropy and slow magnetoacoustic waves, we study the spectral composition of a compression perturbation induced at the boundary. It is shown that the distribution of energy between the modes depends not only on the type of perturbation but also directly on the heating/cooling processes and the corresponding regime of thermal misbalance.

Keywords: Sun, MHD seismology, thermal misbalance.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР SiC/Si, ЛЕГИРОВАННЫХ РАДИОУГЛЕРОДОМ ДЛЯ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Д. Д. Юрлова¹, В.И. Чепурнов¹

¹Самарский национальный исследовательский университет
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
e-mail: daria.dm.yurlova@gmail.com

Работа посвящена исследованию влияния базового сопротивления кремниевой подложки на эффективность генерации тока в бета-вольтаических преобразователях на основе гетероструктур SiC/Si, легированных углеродом-14. Представлены результаты экспериментальных исследований и анализ вольт-амперных характеристик, токов короткого замыкания для планарного и вертикального исполнений структур энергопреобразователей бета-излучения.

Ключевые слова: гетероструктура SiC/Si, радиоуглерод, базовое сопротивление.

В данной работе исследуется планарное и вертикальное исполнение диодной структуры SiC/Si, легированной углеродом-14, указанное на рисунке 2(а,б). Эквивалентная схема указана на рисунке 1. Ток, генерируемый энергопреобразователем, часть которого I_d течет через диод, а другая часть I – через внешнюю нагрузку, описывается выражением: $I_\beta = I_d + I$, где $I_d = I_0 (\exp(qU/KT) - 1)$ – темновая характеристика, в которой I_0 – обратный ток насыщения p-n перехода.

При разомкнутой внешней цепи, когда ее сопротивление бесконечно велико и $I = 0$, можно определить напряжение холостого хода энергопреобразователя:

$$U_{x.x.} = \ln(I_\beta/I_0 + 1) KT/q$$

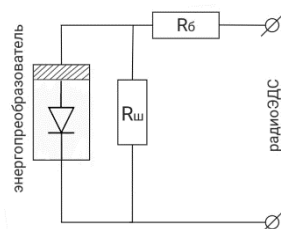


Рис. 1. Эквивалентная схема

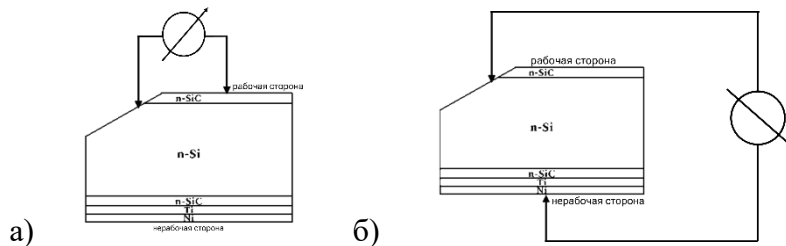


Рис. 2. Схема методики экспериментальных исследований потерь в гетероструктуре SiC/Si с рабочей и нерабочей стороны косого шлифа а) планарное и б) вертикальное исполнение диодной структуры SiC/Si

Результаты экспериментальных электрофизических измерений по влиянию базового сопротивления кремния на генерацию токов энергопреобразователей.

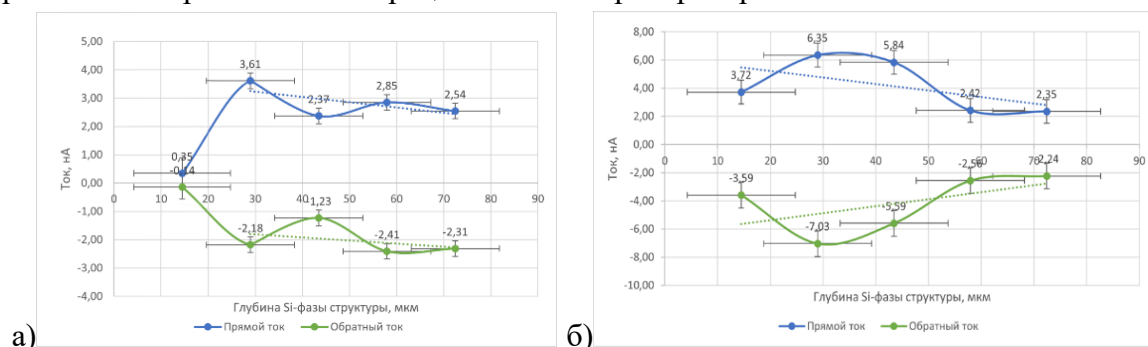


Рис. 3. Графики зависимости тока при сканировании зонда по Si-фазе на косом шлифе в а) планарном и б) вертикальном исполнении диодной структуры SiC/Si

В обоих случаях линии тренда на рисунке 3 (а, б) указывают на снижение значений тока, что говорит об увеличении сопротивления в зависимости от длины траектории по пути тока в Si-фазе и уровня генерации бета-излучением вторичных электроно-дырочных пар носителей с рабочей и нерабочей стороны. Базовое сопротивление влияет на снижение величины тока короткого замыкания, что уменьшает эффективность бета-вольтаического энергопреобразователя в планарном и вертикальном исполнении соответственно на 30% и 36,6% для прямого смещения напряжения. Следует использовать подложки кремния с меньшим удельным сопротивлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нагорнов, Ю.С. Современные аспекты применения бетавольтаического эффекта: монография / Ю. С. Нагорнов. // Ульяновск: УлГПУ, 2012. – 113 с.
2. Булярский, С. В. Физика полупроводниковых преобразователей / под ред. Академика РАН, профессора А. Н. Саурова//Москва: РАН, 2018. – 280 с.

RESEARCH OF SiC/Si HETEROSTRUCTURE ALLOYED WITH RADIOCARBON FOR ENERGY CONVERTERS

D.D. Iurlova¹, V.I. Chepurnov¹

¹Samara National Research University,
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)
e-mail: daria.dm.yurlova@gmail.com

The work is dedicated to studying the influence of the base resistance of a silicon substrate on the effectiveness of current generation in beta-voltaic converters based on SiC/Si heterostructures doped with carbon-14. The results of experimental studies and the analysis of current-voltage characteristics, as well as short-circuit currents for planar and vertical designs of beta-radiation energy converter structures, are presented.

Keywords: SiC/Si heterostructure, radio carbon, base resistance.