

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ, ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФОТОНИКИ.

Труды международной конференции The XXIX Annual International Conference „Saratov Fall Meeting 2025“, 29 сентября–3 октября 2025 г., Саратов, Россия (председатель: член-корр. РАН, д.ф.-м.н. В.В. Тучин) и школы-конференции „Прохоровские недели“ 2025, 21–23 октября 2025 г., Москва, Россия (председатель: д.ф.-м.н. В.В. Глушков)

© К.И. Зайцев¹, Г.М. Катыба², М.В. Понарина¹, Д.С. Пономарев^{3,4}, М.Г. Бурданова⁴

¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва, Россия

² Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук, Черноголовка, Россия

³ Национальный исследовательский центр „Курчатовский институт“, Москва, Россия

⁴ Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный, Россия

e-mail: ponomarev_dmitr@mail.ru

DOI: 10.61011/OS.2026.08.63699.38-26

Специальная секция „Перспективные материалы оптоэлектроники, лазерной физики и фотоники“ журнала „Оптика и спектроскопия“ включает 18 статей, подготовленных по материалам научных докладов, представленных на ежегодной международной конференции „Saratov Fall Meeting 2025“ Перспективные материалы оптоэлектроники, лазерной физики (SFM'25, СГУ имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия, 29 сентября–3 октября 2025 г., URL: <https://sfmconference.org/>), а также ежегодной школе-конференции „Прохоровские недели“ 2025 (ИОФ РАН, Москва, Россия, 21–23 октября 2025 г., URL: <https://pw-conf.gpi.ru/>).

В рамках SFM'25 проведены такие мероприятия как XIII Международный симпозиум по оптике и биофотонике, XXIX Международная научная школа для студентов и молодых ученых по оптике, лазерной физике и биофотонике, Китайско-российский семинар по биофотонике и биомедицинской оптике — 2025, Семинар БРИКС по биофотонике IV — 2025. В работе 18 тематических конференций, семинаров и круглых столов приняло участие более 500 человек из 15 стран, которыми было представлено более 400 докладов и сообщений, включая доклады интернет-секций, 9 пленарных и 19 приглашенных докладов. Студенты, молодые ученые и более чем 150 школьников прослушали лекции член-корр. РАН, профессора СГУ (Россия) Валерия В. Тучина „Человек невидимка — новое в медицине“; и профессора Университета Астон (Великобритания) Игоря В. Меглинского „Свет — детектив: как поляризованный и закрученный свет считывает биологические ткани“.

С пленарными докладами выступили ведущие ученые в области биофотоники: Игорь В. Меглинский (Астонский университет, Великобритания), Дмитрий А. Горин (Сколковский институт науки и технологий, Россия), Владислав И. Щеславский (НИИ экспериментальной онкологии и биомедицинских технологий, Приволжский исследовательский медицинский университет, Россия, Becker & Hickl GmbH, Германия), Мишель Оррит (Лейденский университет, Нидерланды), Лин Фу (Хайнаньский университет, Китай), Дан Жу (Хуачжунский университет науки и технологий, Китай), Лихнг В. Ванг (Калифорнийский технологический институт, США), Владислав В. Яковлев (Техасский университет A&M, США), Михаил А. Проскурнин (МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия).

Сборник статей посвящен актуальным проблемам разработки новых материалов оптоэлектроники, лазерной физики и фотоники, а также их применения в инновационной элементной базе, оптико-электронных и лазерных системах различного назначения.

Значительная доля статей посвящена развитию тонких пленок, композиционных материалов, метаматериалов и низкоразмерных метаматериалов для различных областей оптики, фотоники и лазерной техники.

В работе Е.А. Булавинцевой с соавторами экспериментально исследовано пропускание ТГц-излучения структурами на основе WSe₂ с подсветкой непрерывным излучением с длиной волны 532 nm. Показано, что максимальный вклад в модуляцию сигнала вносят тонкие слои WSe₂, а глубина модуляция линейно зависит от мощности накачки.

В статье С.Д. Лаврова с соавторами разработаны поляризационно-селективные фотодетекторы на основе монослойного MoS_2 . Для преодоления ограничений чувствительности и поляризационной селективности чистых двумерных полупроводников авторы использовали плазмонные наноструктуры на поверхности фотодетектора. Экспериментальные исследования показали высокую поляризационную селективность фототока (до 30), подтверждая эффективность выбранного подхода.

В продолжение работ по дихалькогенидам переходных металлов (ДПМ) в статье И.И. Кондрашова и соавторов исследованы нелинейно-оптические релаксации в пленках MoS_2 в зависимости от толщины слоев. Методом химического осаждения из газовой фазы проведен синтез пленок преимущественно монослойных и малослойных пленок MoS_2 . При помощи метода комбинационного рассеяния (КР) и фотолюминесценции (ФЛ) определено количество слоев (1, 2, 3 и 7) в синтезированных пленках. Полученные карты динамического изменения пропускания демонстрируют наличие А- и В-экситонных полос и положительное изменение пропускания. Вне данных полос наблюдается отрицательное изменение пропускания (увеличение поглощения образца). Определены константы быстрой и медленной динамики релаксации, изменяющиеся в зависимости от числа слоев. Полученные времена релаксации для пленок из 1, 2 и 3 слоев существенно меньше известных литературных данных.

В статье В.Г. Ефременко и соавторов проведен сравнительный анализ теоретического моделирования оптических и фототермических характеристик нитрида титана (TiN), карбида титана (Ti_3C_2), классических частиц на основе сферических наночастиц золота. В качестве основной проблемы, решаемой в статье, авторы отмечают, что традиционные плазмонные наночастицы золота, несмотря на высокий коэффициент поглощения в области поверхностного плазмонного резонанса, обладают рядом фундаментальных ограничений, делающих их малоприспособными для ряда применений. В частности, среди недостатков авторы выделяют узкий спектр поглощения, низкую термическую стабильность и зависимость эффективности от геометрических параметров. Для оценки эффективности использования материалов в условиях реального солнечного облучения авторы вводят оригинальный критерий интегральной фототермической эффективности, представляющий собой средне-взвешенное значение эффективности преобразования с учетом спектрального распределения солнечной энергии и соотношения поглощения и рассеяния. Результаты моделирования на основе теории Ми указывают, что наночастицы TiN и Ti_3C_2 демонстрируют сверхширокое нерезонансное поглощение, охватывающее видимый и ближний ИК-диапазон. Для данных материалов определена высокая спектральная эффективность, обусловленная усиленным поглощением, доминирующим над рассеянием в широком спектральном диапазоне. Полученные

теоретические выводы согласуются с имеющимися экспериментальными данными: эффективность солнечной парогенерации на основе MXene достигает 84–90%, а наночастицы TiN демонстрируют высокую фототермическую активность в биомедицинских приложениях.

В работе П.В. Баркова и соавторов проводился прогностический анализ оптических свойств тонких пленок перфорированного графена с отверстиями почти круглой формы диаметром ~ 1 nm. Для этого использовался метод функционала плотности в приближении сильной связи. Исследовано влияние одного из ключевых геометрических параметров перфорированного графена — ширины шейки на его оптическую проводимость при различном направлении поляризации света относительно гексагональной решетки. Определены значения ширины шейки, при которых пленки перфорированного графена имеют щелевую зонную структуру, обсуждается возможность использования исследуемых пленок перфорированного графена в качестве чувствительного элемента детекторов инфракрасного и ультрафиолетового излучения. В статье А.Е. Резвановой и соавторов изучены микроструктура и химический состав керамического композитного материала гидроксиапатит-многостенные углеродные нанотрубки.

В статье М.А. Подобриня представлены дизайн и численное исследование интегральной метаповерхности на основе нитрида кремния (Si_3N_4), предназначенной для эффективного вывода фундаментальной моды планарного волновода в свободное пространство с последующей высокоапертурной фокусировкой. Ключевой особенностью предложенного подхода является применение метода обратного дизайна на основе сопряженной оптимизации, позволяющего свести задачу физического проектирования к математической задаче максимизации целевой функции — интенсивности электрического поля в заданной фокальной точке. Авторами представлены три оптимизированных дизайна метаповерхностей, рассчитанных для длин волн 488, 532 и 633 nm, что охватывает основные лазерные линии видимого диапазона. Важным технологическим преимуществом разработанной конструкции является возможность формирования волновода, уширителя и метаповерхности в едином литографическом цикле без необходимости многоэтапной интеграции наноструктур, что существенно упрощает процесс изготовления по сравнению с двухслойными интегральными металлинзами. Оптимизированные метаповерхности формируют четко выраженное фокальное пятно с размерами, близкими к дифракционному пределу ($0.51\lambda/\text{NA}$), о чём свидетельствуют значения числа Штреля в диапазоне 0.61–0.72.

И.М. Долуденко и соавторы изучили анизотропию электрических и оптических свойств металлополимерных композиционных материалов на базе нанопроволок FENI в порах полимерных трековых мембран. Было установлено направление оси легкой проводимости композитов и зависимости электрической проводимости от

угла приложения зондов относительно направления легкой оси проводимости. Полученные результаты показывают возможность использования металлополимерных композитов на основе массивов нанопроволок в качестве прозрачных проводящих электродов и функциональных элементов.

В работе Н.С. Парашук и соавторов предложен новый подход к снижению перколяционного порога плёнок Ag с использованием поверхностно-активного слоя ИТО. Установлена взаимосвязь микроструктурных, электрических и оптических характеристик Ag от смещения перколяционного перехода. Показано увеличение общей эффективности структур ИТО/Ag за счёт снижения поверхностного сопротивления и повышения среднего оптического пропускания, что указывает на перспективность данных структур для создания высокоэффективных прозрачных электродов.

И.С. Чекулаев и соавторы разработали эпокси-акрилатные /SiO₂ композиты с возможностью контроля оптических и реологических свойств. Показано, что сформированные функциональные покрытия на основе эпокси-акрилатных композитов характеризуются высокой прозрачностью в оптическом диапазоне (более 96%), термической стабильностью при нагреве до 423 K и отсутствием внутренних дефектов. Реализация двухстадийного процесса отверждения (УФ- и термического) позволяет точно экспонировать полученные покрытия с разрешением порядка 1 µm, что определяет перспективность их использования в качестве функциональных покрытий для оптоэлектронных устройств, ориентирующих слоёв жидкокристаллических материалов, а также матриц для нанокристаллических систем.

Уделено внимание твердотельным, волоконным и гибридным лазерным системам различных спектральных диапазонов, а также их приложениям:

В работе К.А. Галюк и соавторов рассмотрены проблемы моделирования коэффициента усиления активной среды твердотельного лазерного модуля. Модель включает в себя проектирование геометрии распространения излучения лазерных диодных решеток, расчет эффективности поглощения и пространственного распределения мощности поглощенного излучения накачки в активном элементе, оценку запасенной энергии и коэффициента усиления. Полученные расчетные и экспериментальные результаты подтверждают применимость предлагаемого метода расчета при разработке квантронов.

Э.М. Гафуров и соавторы разработали гольмиевый волоконный лазер, перестраиваемый по частоте следования импульсов до 3.26 GHz за счет гармонической синхронизации мод. Режим пассивной гармонической синхронизации мод реализуется с использованием в резонаторе лазера насыщающегося поглотителя на основе одностенных углеродных нанотрубок и волокна с высоким значением числовой апертуры (UHNA4), что обеспечивает смещение суммарной дисперсии резонатора в область нормальных значений. Максимально достигнутое значение частоты следования импульсов

3259 MHz (210-я гармоника) было получено при дополнительной подстройке состояния поляризации, что позволило достичь следующих характеристик выходного излучения лазера: длительность импульсов 3.9 ps, длина волны 2.04 µm и энергия импульсов 11 pJ.

Л.В. Гафурова и соавторы разработали концепции лазерных источников двухмикронного излучения на основе кристаллов Tm³⁺, Ho³⁺:YSGG и Tm³⁺, Ho³⁺:YLF. Использовалась импульсная поперечная диодная накачка при длительности импульса ~ 1 ms в режиме свободной генерации, энергия генерируемых импульсов для двух сред составила 1.1 ± 0.03 J. Также была осуществлена генерация цуга (гребенки) импульсов с высокими уровнями энергий. В режиме активной акустооптической генерации для Tm³⁺, Ho³⁺:YSGG-лазера достигнуты значения 0.21 J на центральной длине волны 2069 ± 3.5 nm и для Tm³⁺, Ho³⁺:YLF-лазера около 0.81 J на центральной длине волны ~ 2050 ± 3.5 nm.

В статье М.В. Винокурова с соавторами продемонстрирован метод достижения одночастотного режима генерации с помощью распределенной обратной связи (РОС) в ТГц-квантово-каскадном лазере с двойным металлическим волноводом. Показано, что изменение периода РОС и ширины волновода позволяет перестроить резонансную частоту для получения наиболее близкой к интересующей интенсивной линии поглощения с различной дискретизацией частотного диапазона.

В статье К.А. Феклисовой и соавторов проведено систематическое исследование эффекта каскадной лазерной кавитации, возбуждаемой цугом микросекундных лазерных импульсов ближнего ИК-диапазона. Этот лазерный режим имеет богатые перспективы в лазерной литотрипсии и хирургии мягких тканей. К достижениям работы следует отнести разработку численной модели, описывающую временную динамику параметров кавитационного пузыря. Также проведено детальное картирование акустического отклика в плоскости расположения оптического волокна и гидрофона, выявившее принципиальные различия между одиночным и каскадным пузырями. Проведенные измерения подтвердили асимметрию коллапса каскадного пузыря, обусловленную его удлинённой формой и гидродинамической неустойчивостью.

А.А. Куприянов и соавторы изучили фотолюминесцентные свойства полученных многоимпульсным фемтосекундным лазерным воздействием одиночных NV-центров в алмазе, важные для их приложений в сенсорике и квантовой оптике. Для исследования их свойств разработан и апробирован метод поиска и позиционирования одиночного эмиссионного центра. Отдельное внимание уделено наличию в зоне облучения сопутствующих дефектов, в частности, генерируемых излучением вакансий.

Еще две работы направлены на развитие и применение методов спектроскопии комбинационного рассеяния. В.В. Кузьмин и соавторы применили этот метод (в области 800–1800 cm⁻¹) для оценки длины молекул

насыщенных карбоновых кислот, а в работе П.Е. Тимченко и соавторов он был применен для оценки состава деионизированной воды.

Организаторы SFM-25 выражают глубокую благодарность СГУ имени Н.Г. Чернышевского, компаниям ЗАО СОЛАР лазерные системы (Минск, Беларусь), ООО „БиоВитрум“ (Санкт Петербург, Россия), ООО „Активная Фотоника“ (Зеленоград Россия), ООО НПП „Наноструктурная технология стекла“ (Саратов, Россия), ООО НПП „Инжект“ (ГК „Росатом“, Саратов, Россия), Инсайнс (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Россия) за финансовую поддержку конференции и настоящего специального выпуска журнала.

Редакторы специальной секции „Перспективные материалы оптоэлектроники, лазерной физики и фотоники“ выражают благодарность всем авторам работ за предоставление результатов своих исследований, сотрудникам журнала „Оптика и спектроскопия“ и рецензентам работ за помощь в подготовке выпуска специальной секции.

Работа редактора Д.С. Пономарева поддержана государственным заданием НИЦ „Курчатовский институт“ в части отбора статей, а также грантом Российского научного фонда (РНФ) № 26-19-00181 в части рецензирования материалов.