



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

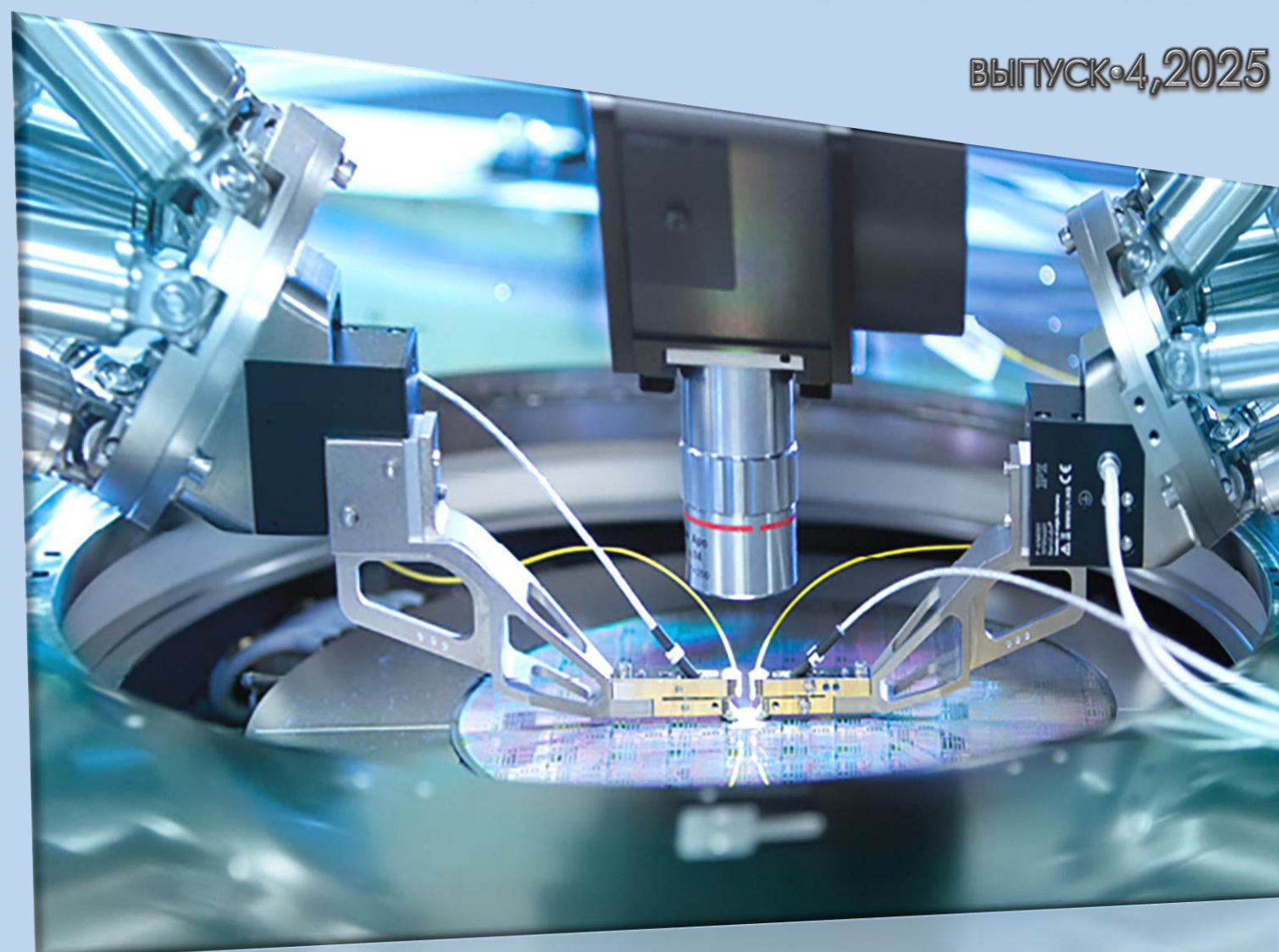
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ОБОРОННОГО КОМПЛЕКСА «КОМПАС»

ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ИНФОРМАЦИОННЫМ ИСТОЧНИКАМ

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОПТИКИ,
ФОТОНИКИ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ВЫПУСК 4, 2025



МОСКВА

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3	Описание гиперполусферической линзы PANCAM на основе точечных отверстий	8
Параметры фотонного давления для достижения релятивистских скоростей.....	4	Обнаружение сгруппированных изотопологов метана с использованием спектроскопии поглощения с внутррезонаторным затуханием	9
Абляционный и коагуляционный Tm:YAP лазер для дерматологических процедур.....	4	Монолитные оптические компоненты для астрономических спектрографов.....	9
Экспериментальное исследование точности профилометрии с лазерным проектором	4	Классификация рисовых зерен по распределению элементов в глубине, измеренному с помощью лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии (ЛИЭС)	10
Мягкие рентгеновские Ag+8 лазеры, накачиваемые безындукционными капиллярными Z-пинч разрядами на основе бифилярного эффекта.....	5	Влияние ZnO/ZnS на фотоиндуцированный отклик тяжелометаллических стекол на основе Sb ₂ O ₃	10
Исследование воздействия мощного лазерного рентгеновского излучения на живые клетки...	5	Расширение спектра SWIR OPCA до среднего ИК-диапазона с использованием переходного вращательного SRS в водороде.....	10
Исследование физических аспектов перовскитных гидридов NaXH ₃ (X = Be, Mg, Ca, Sr) для применений в хранении водорода.....	6	Разработка и оптимизация динамической полностью оптической системы управления лучом на основе призмы Рисли.....	11
Интерференционные эксперименты с моделями двух и трех щелей для аналоговых оптических вычислений.....	6	Широкополосный статический Фурье-спектрометр на основе модифицированного интерферометра Саньяка.....	11
Широкополосные защитные экраны от микроволнового излучения.....	6	Ключевая основа для точной оптической характеристики тонких пленок: определение оптических свойств стекла, слоя SiO ₂ и ITO	12
Передаточные свойства демультиплексора на основе вогнутой дифракционной решетки для полимерных оптических волокон.....	7	Эллипсометрическое картирование оптических свойств и флуктуаций толщины в ITO....	12
Взаимодействие ультракоротких релятивистских лазерных импульсов с фольговыми мишенями и ускорение ионов.....	7	Полосовые ортогональные функциональные системы для конечного преобразования Фурье.....	12
Управление поляризацией и обслуживание электрооптических зондов	8		

Осуществимость защищенной квантовой связи на основе запутанности с использованием практических источников.....	13	Перемещение линейно и циркулярно поляризованного терагерцового Гауссова пучка с помощью трехмерного метаматериала с отрицательным показателем преломления.....	17
Точный оптический анализ тонких органических пленок для OLED-устройств.....	13	Спинтронное зондирование посредством преобразования частоты ТГц и УФ-излучения.....	17
Настройка глубин ловушек в наночастицах ZnGa_2O_4 : Cr^{3+} с длительной люминесценцией для низкотемпературных применений.....	13	Вопросы проектирования новых оптических волокон с поллой сердцевинной для оптической связи.....	18
Разработка системы перестраиваемого пучка Бесселя нулевого порядка.....	14	Сравнение источников терагерцовых импульсов на основе GaAs и ZnTe с накачкой CO ₂ -лазером.....	18
Спектры длительной фосфоресценции охлажденных органических веществ. Зависимость от длины волны возбуждающего излучения.....	14	Характеристики космического астрономического лазерного частотного гребня для миссии vANCESTOR.....	19
Экспресс-измерения флуоресценции нескольких образцов нефтяных смесей с использованием УФ-светодиодов и спектрометров для смартфонов.....	15	Измерения формы на основе контраста спеклов при безлинзовой голографической визуализации.....	19
Межфазная динамика, поверхностные эффекты и термически индуцированные фазовые переходы в многослойных OLED: данные спектроскопической эллипсометрии.....	15	Смартфон как доступный 2D-спектрометр для параллельных спектральных и зависящих от времени измерений.....	20
Управление поперечными модами и синхронизация в связанных широкополосных VCSEL.....	15	Широкополосные каскадные чирпированные наклонные волоконные Брэгговские решетки, записанные фемтосекундным лазером, для улучшенного подавления SRS.....	20
Высокоинтенсивная по сравнению с низкоуровневой лазерная терапия при скелетно-мышечных расстройствах: предварительный систематический обзор с сетевым метаанализом.....	16	Волоконный газовый RAMAN лазер 738 нм.....	21
Испытания зеркал с высоким коэффициентом отражения для DUV-лазеров на пороге лазерного пробоя (LIDT).....	17	Перестраиваемый источник света на уровне Вт на основе полуволнового световода, заполненного ацетиленом, на длине волны 3,1 мкм.....	21

ВВЕДЕНИЕ

Серия конференций OPAL – авторитетный научный форум, где исследователи, специалисты отрасли и ученые со всего мира собираются вместе, чтобы представить последние достижения и применения в области оптики, фотоники и лазерных технологий. Информационный бюллетень отражает динамичный и междисциплинарный характер применения в области оптики, фотоники и лазерных технологий.

В сборнике представлены передовые исследования в таких областях, как квантовая связь, лазерно-импульсные космические двигатели и терагерцовые технологии, а также биомедицинские применения и передовые спектроскопические системы. Разнообразие и глубина представленных материалов подчеркивают ключевую роль, которую оптические науки играют в формировании технологий будущего, от фундаментальной науки до реальных инноваций. Каждая статья прошла строгую экспертную оценку и была отобрана за ее оригинальность, научную ценность и потенциальное влияние.

ПАРАМЕТРЫ ФОТОННОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ СКОРОСТЕЙ

C. R. Phipps

Photonic Associates, Нью-Мексико, США

В этой статье автор более подробно рассматривает темы, поднятые в предыдущих публикациях

2024 г., в том числе способы замедления без замедляющего лазера.

АБЛЯЦИОННЫЙ И КОАГУЛЯЦИОННЫЙ ТМ:УАР ЛАЗЕР ДЛЯ ДЕРМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР

R. Nahear, N. Suliman, D. J. Friedman, S. Noach

Laser Team Medical Ltd, Иерусалим, Израиль

Иерусалимский технологический колледж, Иерусалим, Израиль

В дерматологии лазеры классифицируются как абляционные или неабляционные в зависимости от поглощения тканями, которое определяется длиной волны лазера и свойствами мишени. Высокое поглощение воды в ИК-спектре делает CO₂ и эрбиевые лазеры абляционными, в то время как лазеры с длиной волны 1,5-2 микрона являются неабляционными.

Был разработан инновационный абляционный Тм:УАР лазер с длиной волны 1,94 мкм, расположенный на пике поглощения воды. Использование высокоэнергетических и наносекундных импульсов позволило достичь точной абляции с минимальной зоной термического воздействия. Исследования

этого лазера *in vivo* показали два уникальных режима работы с различными клиническими результатами. Режим низкой коагуляции или абляционный режим с очень узкими абляционными микротуннелями, и режим высокой коагуляции или полуабляционный режим с аналогичными узкими абляционными микротуннелями, но каждый туннель имеет чрезвычайно широкую зону коагуляции, которая может достигать 6 диаметров абляционного туннеля.

Абляционный Тм:УАР лазер демонстрирует большой потенциал для точных дерматологических процедур, предлагая новые возможности в точных абляционных технологиях.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОФИЛОМЕТРИИ С ЛАЗЕРНЫМ ПРОЕКТОРОМ

B. Özbay, Z. Saraç

Стамбульский университет Меденийет, Стамбул, Турция

Профилометрия с проекцией полос (FPP), бесконтактный метод измерения для 3D-оптической визуализации, широко используется в таких областях, как распознавание лиц, компьютерное зрение и технологии виртуальной реальности, благодаря своим преимуществам высокой скорости и точности.

Фазовая ошибка (условия окружающей среды, измеряемый объект, системный шум, сильное изменение фоновой подсветки и т. д.) является тем, что больше всего влияет на точность в этой системе визуализации. Широко используемым методом анализа сигнала для фазового детектирования является

традиционный метод быстрого преобразования Фурье (БПФ), который имеет некоторые недостатки, увеличивающие фазовую ошибку. По этой причине в данном исследовании к этому методу было добавлено несколько методов для создания гибридных методов. Целью исследования является экспериментальное изучение того, как эти методы влияют на точность системы FPP, и определение метода, который дает наименьшую фазовую ошибку. Наиболее важным вопросом в этом исследовании, несомненно, является калибровка системы FPP. Сначала была выполнена калибровка системы с использованием предложенной методики

калибровки. Значения высоты измеряемого объекта были получены с использованием калибровочного коэффициента M , полученного для каждого гибридного метода. Используя эти значения, были найдены значения абсолютной ошибки для получения информации о точности системы FPP.

Из соответствующих значений ошибки было установлено, что система L-FPP дала результат, наиболее близкий к реальности, с использованием метода 2D-EMD-FFT. Также было сделано заключение, что этот метод почти не зависел от геометрии измеряемого объекта.

Информационный листок № 4-04

МЯГКИЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ Ar+8 ЛАЗЕРЫ, НАКАЧИВАЕМЫЕ БЕЗЫНДУКЦИОННЫМИ КАПИЛЛЯРНЫМИ Z-ПИНЧ РАЗРЯДАМИ НА ОСНОВЕ БИФИЛЯРНОГО ЭФФЕКТА

M. Kiss, B. Fekete, A. A. Shapolov, S. Szatmari, S. V. Kukhlevsky
Университет г. Печ, Печ, Венгрия
Институт экспериментальной медицины, Будапешт, Венгрия
Университет г. Сегед, Сегед, Венгрия

Рентгеновские лазеры на неоноподобном аргоне ($\lambda = 46,9$ нм), возбуждаемые капиллярными Z-пинч разрядами, обычно используют высоковольтный (0,1–0,8 МВ) генератор Маркса. Безгенераторный лазер Ar+8 на 46,9 нм может работать при очень низком напряжении 35–45 кВ за счет использования бифилярного эффекта (Opt. Express, vol. 31, pp. 34381–34390, 2023). Лазер генерирует световые импульсы на 46,9 нм с энергией до 4 мкДж. Целью

данного исследования является дальнейшее увеличение энергии лазера путем оптимизации низковольтного возбуждения.

В исследовании представлены результаты оптимизации, которая была выполнена с использованием одномерной магнитогидродинамической модели с одной жидкостью и двумя температурами, кода атомной кинетики и кода трассировки лучей.

Информационный листок № 4-05

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЖИВЫЕ КЛЕТКИ

V. Nastasa, A. Staicu, M. Balas, A.-M. Udrea, M. A. Badea, S. N. Voicu, A. C. Bunea, T. Borcan, D. Naum, L. Neagu, A. Cucoanes, M. Bacalum, P. Ghenuche, M. Boni, T. Tozar, I. R. Andrei, I. Ungureanu, D. Doria
Национальный институт физики и ядерной инженерии им. Хории Хулубея, Бухарест, Румыния
Национальный институт лазерной, плазменной и радиационной физики (INFLPR), Мэгуреле, Румыния
Бухарестский университет, Бухарест, Румыния

В этом исследовании рассматривается подход к лечению рака путем сочетания фотодинамической терапии (ФДТ) с ультравысокой мощностью дозы излучения, генерируемого мощными лазерами. Чтобы преодолеть ограниченное проникновение ФДТ в ткани, мы использовали сцинтиллирующие наночастицы, которые были протестированы на здоровых и раковых клеточных линиях.

Рентгеновское излучение было получено в результате взаимодействия лазерной системы мощностью 10 ПВт, которая производила высокоэнергетические фотонные пучки посредством тормозного

излучения, достигая ультракоротких импульсов и мощностей дозы, превышающих 10^{11} Гр/с, что значительно превосходит порог FLASH-лучевой терапии.

Измерения дозы проводились с использованием высокочувствительных детекторов, а симуляции подтвердили потенциал для точной доставки высоких доз.

Результаты подтверждают перспективность лазерно-управляемого излучения в сочетании с ФДТ на основе наночастиц как мощной стратегии для целенаправленной терапии рака.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПЕРОВСКИТНЫХ ГИДРИДОВ NaXH_3 ($X = \text{Be, Mg, Ca, Sr}$) ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В ХРАНЕНИИ ВОДОРОДА

Taharh Zelai

Университет Джазан, Саудовская Аравия

Настоящее исследование освещает структурные, водородные и оптоэлектронные аспекты NaXH_3 ($X = \text{Be, Mg, Ca, Sr}$). Оценка накопления водорода (H_2) выявила гравиметрическую емкость хранения 8,66 %, 6,02 %, 4,58 % и 2,67 % соответственно. Материалы показали непрямые запрещенные зоны, увеличивающиеся от 1,08 эВ до 2,01 эВ при замене Be на Mg, Ca и Sr. Оптические свойства были по-

дробно изучены для прогнозирования фотоэлектрического потенциала материалов. Оптические характеристики продемонстрировали высокие коэффициенты поглощения и являются хорошими кандидатами для оптоэлектронных применений. Наконец, это исследование устанавливает NaXH_3 ($X = \text{Be, Mg, Ca, Sr}$) как надежную замену для будущих систем хранения водорода и сбора энергии.

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С МОДЕЛЯМИ ДВУХ И ТРЕХ ЩЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛОГОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Д.Ципенюк, В.Слободянин, А.Воропинов, К.Севастианов

Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва, Россия

Московский физико-технический институт, Московская область, Россия

ООО «ЛазерГрафикАрт», Москва, Россия

Оптические вычисления — перспективное направление современной науки и техники. Логические элементы оптических вычислений могут быть основаны на различных оптоэлектронных методах или оптических пространственных модуляторах. Одним из возможных методов оптических вычислений является использование многощелевой интерференции. Точность различных оптических экспериментов затруднялась сложностью изготовления соответствующих узких щелей для двух- или трехщелевых дифракционных экспериментов. Решением этих и подобных технических трудностей может быть изменение спектра излучения из классического оптического диапазона в микроволно-

вый. В данной работе мы представляем предварительные эксперименты по микроволновой интерференции с двумя и тремя щелями. Для интерференции мы использовали различные металлические покрытия с двумя и тремя щелями разной ширины 10 мм.

Дифракционные эксперименты проводились для микроволновых частот 38,3 и 48,3 ГГц. Мы смогли исследовать возможности управления микроволновой интерференцией с двумя и тремя щелями путем изменения поляризации микроволн и введения временной задержки в микроволновом тракте. В ходе исследования мы ищем квантовые эффекты в ближней зоне Френеля и дальней зоне Фраунгофера.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ ОТ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

A. V. Degtyarev, M. M. Dubinin, N. G. Kokodii, V. O. Maslov, A. O. Natarova

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков, Украина

Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени И. Кожедуба, Харьков, Украина

Электронные устройства используются во всех сферах нашей жизни. Во многих случаях возникает необходимость поставить барьер излучению этих

устройств, использовать защитные экраны. Существуют объемные экраны, в которых излучение поглощается в толстом слое вещества с низкой прово-

димостью. Их недостатками являются большие габариты и вес.

В поверхностных экранах на основу из ткани или полимерной пленки наносится проводящая сетка из тонких проводников или мелких проводящих частиц. Проблема здесь заключается в получении равномерной частотной характеристики, то есть независимости пропускания экрана от частоты

падающего излучения. В данной работе предлагается использовать эффект аномально сильного поглощения микроволнового излучения в проводящих волокнах микронного диаметра. Были исследованы экраны с использованием графитовых волокон диаметром 15 мкм. В диапазоне частот от 26 до 38 ГГц их пропускание очень мало зависит от частоты.

Информационный листок № 4-09

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ СВОЙСТВА ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОРА НА ОСНОВЕ ВОГНУТОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

U. H. P. Fischer, M. Haupt, M. Joncic

Гарцский университет прикладных наук, Вернигероде, Германия

Университет прикладных наук Яде, Вильгельмсхафен, Германия

В данной статье представлен всесторонний теоретический и экспериментальный анализ разработанного демультиплексора на основе полимерного оптического волокна со ступенчатым профилем показателя преломления (SI-POF), использующего вогнутую дифракционную решетку. Предложена методология измерений для определения характеристик пропускания демультиплексора.

Зависимость коэффициента пропускания от угла дифракции оценивалась на четырех длинах волн лазерного излучения (405, 450, 520 и 660 нм) в диапазоне положительных и отрицательных углов дифракции до 35°. Наблюдаемые максимумы пропускания тесно совпадали с теоретическими предска-

заниями для углов дифракции. Однако распределение интенсивности света между дифракционными порядками отклонялось от ожидаемой эффективности, при этом большая интенсивность концентрировалась в первом и втором порядках по сравнению с третьим. Это говорит о том, что глубина и форма канавок являются более сложными производственными параметрами, чем расстояние между канавками.

В оптимальных условиях демультиплексор продемонстрировал потенциал для двухканальной работы на длинах волн 405 нм и 450 нм в третьем порядке, достигая вносимых потерь 20 дБ и изоляции каналов 13 дБ.

Информационный листок № 4-10

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАКОРОТКИХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ С ФОЛЬГОВЫМИ МИШЕНЯМИ И УСКОРЕНИЕ ИОНОВ

Sargis Ter-Avetisyan

Национальный институт исследований и разработок в области физики и ядерной инженерии имени Хорри Хулубея (IFIN-HH), Бухарест-Мэгуреле, Румыния

Взаимодействие сверхбыстрых релятивистских лазерных импульсов с ультратонкими фольговыми мишенями демонстрирует новые особенности в сценариях ускорения ионов. Оно гораздо меньше зависит от материала и толщины мишени, чем ожидалось из существующих теорий ускорения ионов. При наклонном падении лазера на мишень свойства эмиссии протонов с тыльной и передней стороны мишени были схожими.

Однако при нормальном падении лазера на мишень энергия отсечки протонов составляла примерно половину значения при наклонном падении.

Высокий лазерный контраст указывает на преобладание вакуумного нагрева мишени за счет эффекта Брюнеля.

Экспериментальные результаты удовлетворительно объясняются теоретическими оценками, согласно которым протоны ускоряются в обратном и прямом направлениях за счет кулоновского взрыва заряженной полости, образованной в крошечной предплазме на передней части мишени, а протоны, ускоренные вперед, получают дополнительную энергию за счет механизма ускорения ионов в нормальном слое мишени (TNSA).

УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ ЗОНДОВ

D. J. Lee, Y. P. Hong

Корейский научно-исследовательский институт стандартов и науки, Тэджон, Южная Корея

Авторы представляют метод активного управления поляризацией, разработанный для сохранения оптимального поляризационного состояния электрооптических (ЭО) зондов во время работы. Эти зонды сопряжены с одномодовыми оптическими волокнами, в которых состояние поляризации (СП) может колебаться из-за внешних возмущений и движения волокна. Учитывая, что производительность большинства ЭО зондов очень чувствительна к поляризации падающего света, поддержание стабильного СП имеет важное значение для обеспечения постоянной точности измерений. ЭО зонд раз-

работан таким образом, чтобы демонстрировать четкую резонансную картину, которая усиливает электрооптический отклик, — особенность, определяемая в основном длиной волны падающего лазера и состоянием поляризации. Для устранения потенциального дрейфа поляризации авторы реализуют алгоритм, который объединяет программируемую настройку длины волны с динамическим контроллером поляризации. Этот подход позволяет в реальном времени оптимизировать резонансное условие, независимо от положения волокна или изменений окружающей среды.

Информационный листок № 4-12

ОПИСАНИЕ ГИПЕРПОЛУСФЕРИЧЕСКОЙ ЛИНЗЫ PANCAM НА ОСНОВЕ ТОЧЕЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ

E. Simioni, C. Pernechele, P. Martini, G. Costa, D. Greggio, W. Erb, M. Barbierato, R. Pozzobon, M. Massironi, D. Scaccabarozzi, L. Amoroso, C. A. De Donno, M. Mucci Beltrami, A. Varriale; Обсерватория INAF, Падуя, Италия; Падуанский университет, Падуя, Италия; Миланский политехнический университет, Милан, Италия; Planetek Italia Srl, 70132, Бари, Италия

Гипергемисферические линзы — это оптические объективы, характеризующиеся сверхшироким полем зрения. Из-за их экстремального поля зрения геометрическая калибровка представляет собой значительные конфигурационные проблемы. Были разработаны различные методы для упрощения геометрической калибровки камер в ближнем поле в контролируемых средах, таких как чистые помещения, и использования простых калибровочных шахматных досок. Линза, анализируемая в этом исследовании (PANCAM), предназначена для использования в качестве планетарной полезной нагрузки для миссии ЕКА с фотограмметрическими целями.

Следовательно, было рассмотрено и расширено современное состояние дел для этого типа линз, чтобы улучшить описательную модель для проекции гипергемисферического поля зрения. Хотя результирующее устранение искажений имеет важное значение для фотограмметрических приложений, стало необходимым определить приблизительную модель для представления одного снимка как композиции из нескольких моделей точечной диафрагмы. Каждая из этих моделей может быть индивидуально использована в качестве источника данных для научных анализов, опирающихся на эту конкретную геометрическую основу.

*Информационный листок № 4-13***ОБНАРУЖЕНИЕ СГРУППИРОВАННЫХ ИЗОТОПОЛОВ МЕТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРОСКОПИИ ПОГЛОЩЕНИЯ С ВНУТРИРЕЗОНАТОРНЫМ ЗАТУХАНИЕМ**

M. Fatima, V. Ulvila, I. Prokhorov, J. Mohn, G. Li, T. Hausmaninger

VTT Центр технических исследований Финляндии, Эспоо, Финляндия
Лаборатория загрязнения воздуха / экологических технологий, Дюбендорф, Швейцария
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Брауншвейг, Германия

Метан (CH₄) является мощным парниковым газом, что делает определение его источников критически важным для смягчения последствий изменения климата. Традиционные методы измерения часто сталкиваются с трудностями при работе со смешанными источниками; однако анализ сгруппированных изотопов может обеспечить лучшую дифференциацию источников. В данной работе была продемонстрирована возможность обнаружения сгруппированных изотопологов метана с использованием спектроскопии по затуханию в резонаторе (CRDS). Метод использует перестраиваемый кван-

тово-каскадный лазер, соединенный с высокоотражающим оптическим резонатором. Затем измеряются различия во времени затухания для определения содержания изотопологов.

Измерения проводились с использованием метана промышленного качества, сосредоточившись на спектральной области от 2228,4 до 2229,2 см⁻¹. Записанные спектры демонстрируют CRDS как эффективный метод для измерения сгруппированных изотопологов метана, затрагивая линии поглощения, присвоенные в недавно опубликованных ИК-Фурье спектрах.

*Информационный листок № 4-14***МОНОЛИТНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ СПЕКТРОГРАФОВ**

M. K. Poutous, H. Lee, U. Subash
Университет Северной Каролины, США
Техасский университет в Остине, Остин, США

Наземным чрезвычайно большим телескопам потребуются эффективные пропускающие и дифракционные оптические компоненты для проведения спектральных астрономических исследований.

Используемые в настоящее время высокоразрешающие спектрографические решетки имеют ограничения по эффективности дифракции, а антибликовые тонкопленочные покрытия обладают неравномерными широкополосными спектральными характеристиками. Мы сообщаем о результатах по улучшению эффективности светопропускания астрономических приборов путем изготовления монолитных бинарно-фазовых решеток на кварцевых подложках и путем нанотекстурирования поверхностей различных оптических элементов для повы-

шения их пропускания. Мы напрямую сравнили производительность изготовленных нами устройств с коммерчески доступными компонентами.

Спектрографические решетки имеют на 35-50% более высокую эффективность дифракции по сравнению с объемными фазовыми голографическими решетками, а нанотекстурированные компоненты имеют широкополосную эффективность пропускания более 98% без интерференционных колебаний или рассеяния.

Оптика с улучшенным пропусканием была протестирована как часть системы ретрансляции света, наряду с обычными компонентами, и также показала лучшую производительность системы.

КЛАССИФИКАЦИЯ РИСОВЫХ ЗЕРЕН ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЛУБИНЕ, ИЗМЕРЕННОМУ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНО-ИСКРОВОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ (ЛИЭС)

S. Almaviva, V. Lazic, C. Zoani, A. Lai

ENEA, Итальянское национальное агентство по новым технологиям, энергетике и устойчивому экономическому развитию, Исследовательский центр Фраскати, Фраскати, Италия
Исследовательский центр Касачча, via anguillarese, Рим, Италия

Разработка и валидация инновационных методов раннего и не/минимально деструктивного обнаружения в агропродовольственной сфере является одной из целей Европейской инфраструктуры METROFOOD (www.metrofood.eu), направленной на укрепление исследований и инфраструктуры метрологии в поддержку агропродовольственного сектора.

В рамках этого мы представляем применение метода лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии (ЛИЭС) для химической характеристики и дискриминации различных видов риса.

Для каждого спектра ЛИЭС вида были идентифицированы основные эмиссионные линии и полосы различных химических видов, согласно литературным данным. Затем был применен многомерный метод анализа главных компонент (АГК) как многомерный метод среди видов. Результаты показывают, что классификация риса по его спектру ЛИЭС осуществима, а потенциальные загрязнители или примеси обнаружимы даже при низких концентрациях, что делает ЛИЭС ценным методом для различных образцов и целей в агропродовольственной сфере.

ВЛИЯНИЕ ZnO/ZnS НА ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЙ ОТКЛИК ТЯЖЕЛОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕКОЛ НА ОСНОВЕ Sb₂O₃

J. Smolík, P. Knotek, J. Schwarz, P. Kostka, R. Todorov, R. Yatskiv, P. Kutálek, E. Černošková

Университет Пардубице, Пардубице, Чешская Республика

Чешская академия наук, Институт структуры горных пород и механики, Прага, Чешская Республика

Химико-технологический университет Праги, Прага, Чешская Республика

Болгарская академия наук, Институт оптических материалов и технологий, София, Болгария

Чешская академия наук, Институт фотоники и электроники, Прага, Чешская Республика

Сравниваются два стекла на основе Sb₂O₃ с добавлением ZnO или ZnS с точки зрения их пригодности для прямой лазерной записи с помощью непрерывного лазера, излучающего на длине волны 447 нм. Лазерное воздействие на оба стекла вызвало топографические изменения на их поверхности (расширение, удаление материала) с потенциальным использованием в микрооптике. Однако химическая форма соединения цинка влияет на величину оптической щели, в случае ZnS ее значение ниже.

Таким образом, присутствие ZnS положительно влияет на фоточувствительность используемого стекла по сравнению с материалом, содержащим ZnO, т.е. позволяет использовать более короткое время экспозиции и/или более низкую плотность мощности лазера. Кроме того, в случае присутствия ZnS в стекле мы наблюдали потемнение областей, подвергшихся воздействию лазерного луча, т.е. топографические изменения сопровождаются изменениями оптического пропускания.

РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА SWIR ОРСРА ДО СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕХОДНОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО SRS В ВОДОРОДЕ

A. Černeckytė, P. Mackonis, A. M. Rodin

Центр физических и технологических наук, Лаборатория твердотельных лазеров, Вильнюс, Литва

Генерация стоксовых импульсов посредством вынужденного вращательного комбинационного рассеяния (SRRS) в сжатом водороде была исследо-

вана с использованием субпикосекундных сигнальных и холостых импульсов в коротковолновом инфракрасном диапазоне. Этот новый подход объеди-

нил оптическое параметрическое усиление чирпированных импульсов (ОПСА) с переходным SRRS для обеспечения спектрального расширения от $\sim 1,9$ мкм до $\sim 3,1$ мкм, что соответствует вращательным сдвигам 587 см^{-1} в водороде.

Были изучены эффекты давления газа, чирповых сигнальных импульсов и длин ячеек, а также спектральная настройка трехкаскадного ОПСА на основе кристалла BiVO для усиления взаимной передачи энергии между сигнальными, холостыми и стоксовыми импульсами. Было показано, что отрицательный чирп способствует генерации импульсов

в диапазоне холостых длин волн, тогда как положительный чирп способствует возбуждению стоксовых импульсов более высокого порядка. Использование двух ячеек длиной 65 см обеспечило энергию стоксового импульса ~ 70 мкДж на длине волны $\sim 2,6$ мкм, в то время как импульсы SRRS наивысшего порядка на длине волны ~ 3 мкм были получены с использованием одной ячейки длиной 43 см. Эта работа открывает путь для эффективной передачи энергии ультракоротких импульсов из коротковолнового в среднеинфракрасный диапазон с использованием переходного SRRS.

Информационный листок № 4-18

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛУЧОМ НА ОСНОВЕ ПРИЗМЫ РИСЛИ

A. Hentz, J.-L. Gutzwiller, M. Alassir, M. Sciamanna
Университет Лотарингии, Мец, Франция

В данной статье представлен новый подход к управлению лучом путем интеграции призмы Рисли с расширителем луча переменного увеличения, предлагающий гибкое и точное решение для таких применений, как LiDAR и оптическая связь. Система поддерживает сканирование луча на расстояниях от нескольких метров до нескольких километров, с быстрым временем отклика, измеряемым сотнями миллисекунд, и пространственным разрешением, достигающим десятков сантиметров. Экспериментальные исследования подчеркивают

способность системы адаптироваться к различным размерам окон и расстояниям благодаря оптимизированной конструкции, использующей всего пять линз. Была проведена специальная фаза разработки для уменьшения количества движущихся частей и повышения стабильности выравнивания линз. Были выполнены симуляции и практические испытания для определения допустимых допусков позиционирования, обеспечивающих надежную производительность и экономическую эффективность для потенциального промышленного использования.

Информационный листок № 4-19

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СТАТИЧЕСКИЙ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТР НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА САНЬЯКА

A. Hussain, B. Lane
RAL Space, STFC Rutherford Appleton Laboratory, Соединенное Королевство

Мы демонстрируем новую оптическую конструкцию широкополосного статического спектрометра с преобразованием Фурье (FTS) на основе модифицированного интерферометра Саньяка, который использует весь входящий свет.

Большинство спектрометров с преобразованием Фурье (FT) используют 2D-оптическую планарную интерферометрию и используют только 50% входящего света, перенаправляя остальное к источнику.

Наша конструкция статична и использует наклонные зеркала для поднятия оптической плоскости над путем входящего света и извлекает оставшийся свет для демонстрации широкополосных спектральных характеристик.

Спектрометр состоит из широкополосного источника, светоделиителя, цилиндрических зеркал, а также детекторов видимого и SWIR (коротковолнового инфракрасного) диапазонов. Конструкция может быть применена к различным спектральным диапазонам с использованием правильных компонентов.

Спектральное разрешение спектрометра было измерено с использованием когерентных и некогерентных источников и продемонстрировало спектральное разрешение $\Delta\lambda/\lambda < 1\%$ от центральной длины волны в спектральном диапазоне 400-1700 нм. Лишь немногие спектрометры на рынке сегодня могут охватить этот спектральный диапазон.

КЛЮЧЕВАЯ ОСНОВА ДЛЯ ТОЧНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕКЛА, СЛОЯ SiO_2 И ИТО

Н.Н. А. Vembris, I. Aulika, P. Paulsone, E. Laizane, J. Butikova

Институт физики твердого тела Латвийского университета, Рига, Латвия

В этом исследовании мы представляем последствия неточной оценки показателя преломления (n) и коэффициента экстинкции (k) коммерческих подложек из оксида индия-олова (ИТО), которые включают натриево-известковое флоат-стекло и буферный слой SiO_2 . Данные спектроскопической эллипсометрии (SE) были проанализированы для определения оптических свойств составляющих подложек ИТО, чтобы выявить их влияние на последующее определение оптических констант и толщины ИТО и органических слоев исследуемого OLED.

Картирование SE, проведенное на нескольких подложках ИТО, выявляет существенные вариации толщины буферного слоя SiO_2 , а также колебания показателя преломления ИТО по всему набору подложек. Эти ошибки влияют на подгонку органических слоев OLED, что приводит к значительным отклонениям. Точное определение оптических свойств всех составляющих подложки имеет решающее значение для разработки правильных моделей и достижения точных экспериментальных подгонок.

ЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ФЛУКТУАЦИЙ ТОЛЩИНЫ В ИТО

J. Butikova, I. Aulika, P. Paulsone, A. Vembris

Институт физики твердого тела Латвийского университета, Рига, Латвия

В исследовании представлены результаты спектроскопической эллипсометрии (СЭ) тридцати коммерческих подложек из ИТО, объясняющие вариации их оптических и электрических свойств. Мы исследуем шероховатость поверхности, толщину и комплексный показатель преломления пленок ИТО, включая градиенты удельного сопротивления. Картирование СЭ по области сканирования ($1,5 \times 1,5$) см на подложках ($2,5 \times 2,5$) см подтверждает одно-

родность свойств ИТО в пределах одной партии, но выявляет значительные вариации толщины SiO_2 и колебания оптических констант на разных подложках. Эти результаты подчеркивают необходимость характеристики отдельных подложек перед нанесением слоев, необходимых для изготовления OLED или других устройств, чтобы обеспечить точность определения оптических свойств конечного оптоэлектронного устройства.

ПОЛОСОВЫЕ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНЕЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФРЕНЕЛЯ

T. Aoyagi, K. Ohtsubo

Университет Тоё, Сайтама, Япония

Цель работы — исследовать эффект ограничения полосы пропускания в плоскости преобразования Френеля. Для этого авторы показывают функцию, полная мощность которой в конечной плоскости преобразования Френеля максимальна, при условии, что входной сигнал равен нулю за пределами ограниченной области. Эта задача является вариационной с дополнительным условием. Это приводит к задачам на собственные значения интегрального уравнения Фредгольма первого рода. Кроме того, авторы доказывают, что собственные

функции, соответствующие различным собственным значениям, обладают двойным ортогональным свойством. Путем дискретизации ядра и диапазона интегрирования для поиска приближенных решений, задачи на собственные значения интегрального уравнения могут зависеть от одной из эрмитовых матриц в конечномерном комплексном векторном пространстве. Все собственные значения и собственные векторы матрицы вычисляются методом Якоби. Авторы применили собственные векторы для разложения двумерных изображений.

ОСУЩЕСТВИМОСТЬ ЗАЩИЩЕННОЙ КВАНТОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ЗАПУТАННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

М. Gumberidze, V. Usenko

Университет Палацкого, Чешская Республика

Мы теоретически рассматриваем осуществимость протоколов квантового распределения ключей (КРК) с использованием двух типов практических источников запутанных состояний, а именно источников, основанных на спонтанном параметрическом преобразовании с понижением частоты (СППЧ) и на квантовых точках (КТ). Мы учитываем многопарное излучение в СППЧ и расщепление тонкой структуры в КТ, а также несовершенное фотодетектирование, склонное к темновым отсчетам и ограниченной эффективности. В случае

СППЧ мы подтверждаем, что наличие вакуума и множественных пар делает такие источники непригодными для аппаратно-независимого КРК с неоптимизированным детектированием. В отличие от этого, источники на КТ могут быть использованы для аппаратно-независимых протоколов, хотя и обеспечивают ограниченную производительность из-за несовершенства источника. Наши выводы имеют решающее значение для практической реализации протоколов КРК на основе запутанности с использованием несовершенных устройств.

ТОЧНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОНКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ДЛЯ OLED-УСТРОЙСТВ

P. Paulsone, I. Aulika, J. Butikova, K. A. Stucere, A. Vembris

Институт физики твердого тела Латвийского университета, Рига, Латвия

Спектроскопическая эллипсометрия предлагает неразрушающий метод для характеристики оптических свойств материалов.

В данной работе исследованы оптические константы 19 различных органических соединений, используемых в органических светоизлучающих диодах (OLED). Тонкие пленки этих соединений были получены термическим испарением на двух различных подложках: кварцевом стекле (Qz) и стекле/бу-

ферном слое SiO₂/ITO. Особое внимание было уделено влиянию материала подложки на комплексный показатель преломления (показатель преломления n и коэффициент экстинкции k) этих органических пленок, предоставляя данные в спектральном диапазоне 210–1690 нм (0,7–5,9 эВ). Результаты показывают зависимость от подложки вариаций оптических свойств, что крайне важно для оптимизации конструкции OLED.

НАСТРОЙКА ГЛУБИН ЛОВУШЕК В НАНОЧАСТИЦАХ ZnGa₂O₄: Cr³⁺ С ДЛИТЕЛЬНОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЕЙ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

C. Matuszewska, B. Viana, C. Chaneac

Университет Сорбонна, Париж, Франция

IRCP, PSL, Chimie ParisTech, Париж, Франция

В этом исследовании авторы успешно изменили распределение глубины ловушек в наночастицах ZGO:Cr путем оптимизации процесса прокаливания после микроволнового гидротермального синтеза.

Тщательно контролируя условия синтеза, авторы разработали наноразмерные люминофоры с длительным послесвечением, адаптированные для различных температурно-зависимых применений.

Примечательно, что образец ZGO MW продемонстрировал сильную и долговечную люминесценцию при сверхнизких температурах (15 K) благодаря быстрому, эффективному и экологически чистому подходу к синтезу. Эти материалы показывают большой потенциал для применений, требующих непрерывного охлаждения при температурах жидкого азота, таких как криоконсервация биологических агентов, вирусов и тканей.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ПУЧКА БЕССЕЛЯ НУЛЕВОГО ПОРЯДКА

М. Naouas, B. Chebbi

Лаврентийский университет, Канада

Недифрагирующие пучки, такие как пучки Бесселя, с увеличенной глубиной резкости (ГР) находят применение в биологической и биомедицинской областях.

Во многих случаях важна настройка различных параметров ГР, таких как длина, интенсивность, поперечная протяженность и диапазон. Мы исследуем две альтернативные трехаксиконные системы с целью настройки диапазона ГР, сохраняя при этом почти постоянную интенсивность и длину. Первые два аксикона этих систем являются линейными и используются для создания кольцевого пучка с регулируемым радиусом. В зависимости от своего ра-

диуса, кольцевой пучок отображается третьим аксиконном в продольное распределение с регулируемым диапазоном.

Первая система использует логарифмический аксикон в качестве третьего аксикона и обеспечивает непрерывно настраиваемый диапазон, но со значительным изменением интенсивности и увеличением длины ГР с увеличением диапазона. Вторая система, для которой используется недавно разработанный многофокусный третий аксикон, приводит к меньшему изменению интенсивности и почти постоянной длине ГР, но с различными фиксированными диапазонами.

СПЕКТРЫ ДЛИТЕЛЬНОЙ ФОСФОРЕСЦЕНЦИИ ОХЛАЖДЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ВОЗБУЖДАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Д.Ципенюк, В.Слободянин, А.Воропинов, К.Севастианов

Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва, Россия

Московский физико-технический институт, Московская область, Россия

ООО «ЛазерГрафикАрт», Москва, Россия

В данной работе мы представляем исследование зависимости спектров фосфоресценции охлажденных органических веществ от различных длин волн возбуждения. В нашей презентации OPAL'2024 мы обсудили возможности и перспективы создания аналоговых оптических логических ячеек в активных средах, охлажденных до криогенных температур, на основе сложных органических соединений.

Полученные результаты иллюстрируют потенциал компактных оптических вычислительных элементов на основе аналогов матрицы Шпольского. Предложенные оптические вычислительные элементы были основаны на углеродной матрице твердых растворов, охлажденных до температуры жидкого азота, и монокристаллическом сцинтилляторе

Gd₃Ga₃Al₂O₁₂:Ce (GAGG:Ce). Для дальнейшего развития предложенной методики важно четко понимать физическую сущность оптических переходов в охлажденных органических средах, обладающих сверхдлинной фосфоресценцией в видимом спектре до 5-30 секунд для различных органических веществ.

С этой целью мы исследуем спектры фосфоресценции охлажденных до криогенных температур различных органических веществ в зависимости от длин волн возбуждения (УФ-светодиоды с эмиссионными спектрами 250-260, 260-270, 290-300 и 300-315 нм). Также была исследована временная зависимость спектров фосфоресцирующих органических веществ.

ЭКСПРЕСС-ИЗМЕРЕНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ НЕСКОЛЬКИХ ОБРАЗЦОВ НЕФТЯНЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УФ-СВЕТОДИОДОВ И СПЕКТРОМЕТРОВ ДЛЯ СМАРТФОНОВ

K. Nikolova, T. A. Eftimov, M. Marudova, N. Panova

Медицинский университет, Варна, Болгария; Университет Квебека в Утауэ, Квебек, Канада

Центральная лаборатория прикладной физики, Пловдив, Болгария

Пловдивский университет им. П. Хилендарского, Пловдив, Болгария

Авторы сообщают об одновременном измерении спектров флуоресценции нескольких образцов смесей растительных масел, возбуждаемых УФ-светодиодами и детектируемых с помощью спектрометра смартфона. До 8 смесей с различными пропорциями кунжутного, рапсового и соевого масел, помещенных в капилляры объемом всего 1 микролитр, были одновременно проанализированы 2D-спектрометром. Использовались несколько длин волн УФ-светодиодного возбуждения ниже

405 нм. Результаты сравнивались со спектрами, полученными стандартными волоконно-оптическими спектрометрами.

Мы демонстрируем возможность оценки процентного содержания примеси по относительному содержанию хлорофилла В, имеющего максимум около 673 нм. Обсуждаются относительные преимущества и недостатки использования смартфонов и стандартных волоконно-оптических спектрометров.

МЕЖФАЗНАЯ ДИНАМИКА, ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЭФФЕКТЫ И ТЕРМИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В МНОГОСЛОЙНЫХ OLED: ДАННЫЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ

I. Aulika, P. Paulsone, S. Oras, J. Butikova, E. Laizane, A. Vembris

Институт физики твердого тела, Латвийский университет, Рига, Латвия

Институт физики, Тартуский университет, Тарту, Эстония

Термическое поведение системы OLED стекло/ITO/TAPC/CBP/BPhen было исследовано с использованием спектроскопической эллипсометрии in situ во время контролируемого нагрева от комнатной температуры до 120 °C за 60 минут. Изменения в спектрах Ψ и Δ наблюдались во всем спектральном диапазоне 0,7–5,9 эВ, при этом появилось пять различных аномалий, особенно в УФ-

области. Аномалия при ~66 °C приписывается температуре стеклования BPhen, в то время как другая при ~82 °C соответствует фазовому переходу первого порядка TAPC. Происхождение остальных аномалий исследуется в этой работе с акцентом на образование межфазного слоя и гетерогенную морфологию поверхности, которая возникает во время нагрева.

УПРАВЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫМИ МОДАМИ И СИНХРОНИЗАЦИЯ В СВЯЗАННЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ VCSEL

J. Mercadier 1,2, S. Bittner 1,2, M. Sciamanna

Кафедра фотоники, LMOPS, CentraleSupélec, Мец, Франция

Университет Лотарингии, CentraleSupélec, LMOPS, Мец, Франция

Авторы исследуют нелинейную динамику широкоапертурных VCSEL (BA-VCSEL) при оптической инжекции, уделяя особое внимание их мультимодальным взаимодействиям и реорганизации попе-

речных мод. Из-за своей inherently нелинейной природы BA-VCSEL демонстрируют переключение поляризации, конкуренцию мод и самогенерируемый хаос в автономном режиме. Наши результаты пока-

зывают, что оптическая инжекция изменяет структуру поперечных мод ведомого лазера, при этом перераспределение мощности благоприятствует модам, спектрально выровненным с ведущим. Это взаимодействие приводит к значительным изменениям в пространственных и спектральных свойствах излучения, демонстрируя сильную нелинейную связь между поперечными модами. Кроме того, временной анализ выявляет корреляции, достигающие

90 %, при этом как нормальные, так и инверсные режимы синхронизации возникают как следствие этой реструктуризации мод.

Эти результаты подчеркивают, что BA-VCSEL являются мощной платформой для исследования нелинейных оптических явлений, подчеркивая их потенциал для контролируемой мультимодовой лазерной динамики и приложений, основанных на хаосе.

Информационный листок № 4-31

ВЫСОКОИНТЕНСИВНАЯ ПО СРАВНЕНИЮ С НИЗКОУРОВНЕВОЙ ЛАЗЕРНАЯ ТЕРАПИЯ ПРИ СКЕЛЕТНО-МЫШЕЧНЫХ РАССТРОЙСТВАХ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР С СЕТЕВЫМ МЕТААНАЛИЗОМ

Hernán Andrés de la Barra Ortiz

Институт наук о физических упражнениях и реабилитации,

Университет Андреса Белло, Сантьяго, Чили

Лаборатория исследований физиотерапевтических ресурсов, Федеральный университет Сан-Карлус (UFSCar), Сан-Паулу, Бразилия

Заболевания опорно-двигательного аппарата (ЗОДА) поражают миллионы людей по всему миру, приводя к хронической боли, функциональным ограничениям и значительному социально-экономическому бремени. Низкоинтенсивная лазерная терапия (НИЛТ), использующая низкую мощность ($< 0,5$ Вт), широко применяется для модуляции боли, уменьшения воспаления и поддержки восстановления тканей. В последнее время высокоинтенсивная лазерная терапия (ВИЛТ) стала многообещающей альтернативой, обеспечивая большую доставку энергии и потенциально усиленные анальгетические эффекты. Целью данного систематического обзора было сравнение эффективности ВИЛТ и НИЛТ для облегчения боли на основе данных рандомизированных контролируемых исследований (РКИ). Всего было включено 22 исследования. Методологическое качество оценивалось с использованием шкалы PEDro, средний балл составил 6,6 ($CO = 1,6$). Интенсивность боли была основным исходом, оцениваемым с использованием валидированных инструментов, таких как Визуальная аналоговая шкала (ВАШ) и Числовая рейтинговая шкала

боли (ЧРШБ). Был проведен метаанализ для сравнения анальгетической эффективности обеих лазерных модальностей, а также сетевой метаанализ для ранжирования эффективности стратегий лечения, включающих каждую из них. Результаты показали, что ВИЛТ в сочетании с упражнениями превосходила НИЛТ, используемую в качестве самостоятельного вмешательства ($SMD = 0,90$; 95 % ДИ: от 0,10 до 1,70). Кроме того, ВИЛТ в сочетании с упражнениями продемонстрировала значительно большие анальгетические эффекты по сравнению как с одной только ВИЛТ, так и с НИЛТ ($SMD = 2,3$; 95 % ДИ: от 0,1 до 4,6).

Наиболее эффективным подходом в целом была мультимодальная физиотерапия ($SMD = 3,3$; 95 % ДИ: от 0,90 до 5,7). Более того, ВИЛТ постоянно занимала более высокое место, чем НИЛТ, с точки зрения уменьшения боли. Эти данные свидетельствуют о том, что ВИЛТ может предложить превосходные анальгетические преимущества, особенно при включении в основанные на упражнениях или мультимодальные стратегии лечения для людей с ЗОДА.

ИСПЫТАНИЯ ЗЕРКАЛ С ВЫСОКИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ DUV-ЛАЗЕРОВ НА ПОРОГ ЛАЗЕРНОГО ПРОБОЯ (LIDT)

J. Vanda, M-G. Muresan, Martin Mydlar, Priyadarshani Narayanasamy, Hana Turcicova, Radek Poboril, Jan Brajer, Tomas Mocek

Центр HiLASE, Институт физики Чешской академии наук, Чешская Республика

Глубокие ультрафиолетовые (DUV) лазерные системы, работающие на длине волны 257 нм, становятся все более важными для таких применений, как производство полупроводников и прецизионная микрообработка. Однако высокие энергии фотонов и короткая длительность импульсов могут вызывать быстрое оптическое повреждение компонентов лазера. В данном исследовании представлена производительность порогового значения повреждения, вызванного лазером (LIDT), восьми коммерчески доступных образцов высокоотражающих (HR) зеркал, разработанных для работы на длине волны 257 нм при нормальном падении.

Зеркала были протестированы с использованием протоколов ISO 21254 (s-on-1) при длительности импульса 1 пс и частоте повторения 1 кГц.

Самый высокий многоимпульсный LIDT, наблюдаемый для 105 импульсов, составил $\sim 0,16$ Дж·см⁻². Морфологии повреждений варьировались от образования центров окраски до кратерообразного расслоения, что подчеркивает текущие проблемы в разработке DUV-зеркал.

Результаты подчеркивают влияние материалов покрытия, качества подложки и накопления дефектов, предоставляя информацию о стратегиях проектирования надежной DUV-оптики.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЛИНЕЙНО И ЦИРКУЛЯРНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО ТЕРАГЕРЦОВОГО ГАУССОВА ПУЧКА С ПОМОЩЬЮ ТРЕХМЕРНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

M. Marishwari, S. Madhavamoorthi, Suling Shen, Qiang Liu, Z. Ouyang

Шэньчжэньский университет, Шэньчжэнь, Китай

Южный университет науки и технологий, Шэньчжэнь, Китай

Генерация и передача терагерцевых (ТГц) волн являются ключевыми элементами в будущих системах связи. Большинство традиционных пассивных методов направлены на передачу ТГц волн на большие расстояния. Однако передача профиля падающего пучка остается недостаточно представленной по сравнению с другими показателями производительности волноводов. В данной работе 3D функци-

ональный метаматериал с отрицательным показателем преломления (NIM) используется для преобразования ТГц Гауссова пучка (ГП) с линейной и круговой поляризацией.

Расчеты параметров рассеяния и полученные эффективные параметры материала показывают, что разработанный NIM нечувствителен к поляризации и имеет низкие потери при передаче.

СПИНТРОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПОСРЕДСТВОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ТГц И УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ

I. Ilyakov, S. Kovalev, R. Salikhov, M. Gensch

Центр Гельмгольца Дрезден-Россендорф, Дрезден, Германия

Технический университет Дортмунда, Дортмунд, Германия

Институт оптических сенсорных систем, DLR (Германский аэрокосмический центр), Берлин, Германия

Манипулирование магнитными свойствами и управление ими на более высоких скоростях улучшает функциональность спинтронных устройств.

Предыдущие эксперименты по возбуждению магнитных материалов фемтосекундными импульсами ближнего инфракрасного диапазона открыли

сверхбыстрый временной масштаб для магнетизма: суб-пс выпрямленные токовые импульсы спинового переноса были продемонстрированы в гетероструктурах ферромагнетик/тяжелый металл. Для их обнаружения была предложена терагерцовая спектроскопия во временной области. Представленные здесь результаты демонстрируют эффективную нелинейную генерацию спинового тока терагерцовыми и экстремально-ультрафиолетовыми накачивающими импульсами и их обнаружение путем измерения испускаемого электромагнитного излучения. Результаты показывают, что терагерцовые импульсы, облучающие гетероструктуру ферромагне-

тик/тяжелый металл, генерируют не только выпрямленные импульсы, как в случае накачки ближним инфракрасным диапазоном, но и импульсы на второй гармонике частоты возбуждения. Это обеспечивает удобный и чувствительный метод для обнаружения сверхбыстрых токов спинового переноса.

В случае экстремально-ультрафиолетовых накачивающих импульсов показано, что нелинейное преобразование в терагерцовый диапазон позволяет использовать надежный метод однократного измерения времени прихода, энергии и длительности экстремально-ультрафиолетового импульса.

Информационный листок № 4-35

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С ПОЛОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

W. Belardi, S. B. S. A. Navalgund, E. B. Mengesha, M. M. Bilal, A. Cucinotta
Университет Пармы, Парма, Италия

Авторы представляют анализ конструкции самого современного и эффективного полого оптического волокна для оптической связи из когда-либо описанных.

Численные симуляции показывают влияние геометрических параметров волокна, а именно размера его сердцевинки, толщины распорок, размера трубок оболочки и зазора между трубками оболочки, на потери в волокне. Эта работа демонстрирует устойчи-

вость характеристик волокна к изменениям его геометрической структуры в поперечном и продольном сечениях. Подчеркивается, как текущие технологические ограничения в воспроизведении идеальной структуры волокна с постоянными параметрами, равномерно распределенными по всей длине волокна, оказывают существенное влияние на ограничение используемой полосы пропускания волокна.

Информационный листок № 4-36

СРАВНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ GaAs И ZnTe С НАКАЧКОЙ CO₂-ЛАЗЕРОМ

Nazymbekov Gabit, Gergő Illés, János Hebling, György Tóth
Университет г. Печ, Печ, Венгрия

Научно-исследовательская группа REN-PTE по высокопольному терагерцовому излучению, Печ, Венгрия

В данном исследовании представлено сравнительное исследование, основанное на численных расчетах генерации одноцикловых терагерцовых импульсов методом оптического выпрямления с использованием CO₂-лазера для накачки. Особое внимание уделялось двум полупроводниковым материалам: арсениду галлия (GaAs) и теллуриду цинка (ZnTe). Были исследованы эффективность преобразования, формы импульсов и спектральные характеристики как генерируемого ТГц-импульса, так и импульса накачки.

Численная модель учитывала процесс генерации ТГц, дисперсию и поглощение для ТГц-волны, а также дисперсию, генерацию второй гармоники,

эффекты самофазовой модуляции и каскадное преобразование вверх и вниз (из-за генерации ТГц) для волны накачки.

Результаты показывают, что GaAs обеспечивает более высокую напряженность электрического поля и лучшее качество генерируемого ТГц-импульса, чем ZnTe. Можно наблюдать, что сверхкороткие полупроводниковые кристаллы, управляемые CO₂-лазером, обладают значительным потенциалом для генерации терагерцовых импульсов с чрезвычайно высокой энергией импульса и высокой напряженностью поля, чьи импульсы являются фундаментальными для практической реализации терагерцового ускорения частиц.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКОГО АСТРОНОМИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО ЧАСТОТНОГО ГРЕБНЯ ДЛЯ МИССИИ vANCESTOR

J. Berney, A. Deep, E. Bozzo, F. Pepe, M. Bugatti, A. Baur, C. Broeg, B. Crazzolara, F. Droz, J. Figueredo, H. Haile, L. Jolissaint, S. Lecomte, J. Moerschell, Ch. Mordasini, E. Obrzud, C. Praplan, M. Sarajlic, B. Soja; M. Van den Broeck

Швейцарский центр электроники и микротехнологий (CSEM), Невшатель, Швейцария
ESA/ESTEC, Нордвейк, Нидерланды

Проект vANCESTOR направлен на разработку космического лазерного частотного гребня (ЛЧГ), который обеспечит универсальный спектральный эталон для всех основных спектрографов по всему миру. ЛЧГ должен будет соответствовать тому же уровню производительности, что и наземные ЛЧГ, такие как высокая частотная стабильность, большая частота повторения и широкий и плоский спектральный охват, наряду со специфическими космическими требованиями, такими как компенсация доплеровского сдвига и радиационная защита. Мы предлагаем архитектуру ЛЧГ, которая отвечает всем научным требованиям космического решения.

Предлагаемая архитектура основана на двух стабилизированных затравочных лазерах, которые электрооптически модулируются на частоте 30 ГГц и спектрально расширяются с помощью комбинации оптических волокон с дисперсионной инженерией и волноводов из периодически поляризованного ниобата лития.

Она отвечает всем требованиям проекта и, в частности, может динамически модулировать частоту повторения лазера и функцию несущей-оглабающей с требуемой точностью. Мы также обсуждаем следующий шаг к будущей миссии vANCESTOR.

ИЗМЕРЕНИЯ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ КОНТРАСТА СПЕКЛОВ ПРИ БЕЗЛИНЗОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

M. Agour, C. Falldorf, R. B. Bergmann

VIAS-Бременский институт прикладной лучевой техники, Бремен, Германия
Асуанский университет, Асуан, Египет

Авторы предлагают метод измерения формы технических деталей с использованием безлинзовой голографической визуализации. Подход основан на оценке контрастности спеклов в реконструированной интенсивности на плоскости объекта, полученной из цифровых голограмм, снятых при различных направлениях освещения.

Анализируя спекл-поле, генерируемое некогерентным сложением реконструкций в области объ-

екта, достигается глубинная дискриминация посредством контрастности спеклов, что позволяет различать области в фокусе и вне фокуса. Это свойство используется для локализации объектов и реконструкции их 3D-формы.

Метод экспериментально подтвержден измерением 3D-карты глубины технического объекта, состоящего из двух металлических винтов, расположенных на разной глубине.

СМАРТФОН КАК ДОСТУПНЫЙ 2D-СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ И ЗАВИСЯЩИХ ОТ ВРЕМЕНИ ИЗМЕРЕНИЙ

K. Nikolova, K. Nikolov, T. Eftimov, N. Panova, V. Vitola

Медицинский университет, Варна, Болгария

Центральная лаборатория прикладной физики, Пловдив, Болгария

Университет Квебека, Квебек, Канада

Мы сообщаем о результатах исследования возможностей смартфонов, которые могут быть использованы в качестве практичных и доступных 2D-спектрометров, предлагающих преимущества одновременного анализа ряда люминесцентных датчиков как в спектральной, так и во временной области.

Авторы более подробно рассматривают следующие важные вопросы, связанные с использованием

смартфонов: их разрешение, их спектральные характеристики, их линейность и насыщение. Мы приводим примеры эффективного применения смартфонов для одновременного восстановления общих спектров излучения и 3D-спектров, а также временных зависимостей. Показаны примеры спектров жидких и твердотельных кристаллических образцов, а также фосфоресцентных временных характеристик образцов.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ КАСКАДНЫЕ ЧИРПИРОВАННЫЕ НАКЛОННЫЕ ВОЛОКОННЫЕ БРЭГГОВСКИЕ РЕШЕТКИ, ЗАПИСАННЫЕ ФЕМТОСЕКУНДНЫМ ЛАЗЕРОМ, ДЛЯ УЛУЧШЕННОГО ПОДАВЛЕНИЯ SRS

Hao Li, Rong Zhao, Xinyu Ye, Binyu Rao, Xinda Lu, Baiyi Wu, Meng Wang, Zhixian Li, Zilun Chen, Zefeng Wang

Национальный университет оборонных технологий, Чанша, Китай

Государственная ключевая лаборатория импульсных лазерных технологий, Чанша, Китай

Волоконные лазеры высокой мощности имеют значительную прикладную ценность, но стимулированное комбинационное рассеяние (SRS) ограничивает их масштабирование мощности. Использование чирпированных наклонных волоконных брэгговских решеток (CTFBGs) является эффективным методом подавления SRS. Однако обычные CTFBGs, изготовленные с помощью ультрафиолетового лазера, имеют недостатки, а изготовленные фемтосекундным (fs) лазером имеют относительно узкую полосу пропускания. В этом исследовании представлен новый каскадный метод записи с использованием технологии фс-лазерной фазовой маски для изготовления CTFBGs с расширенной полосой пропускания. Путем каскадирования трех

суб- CTFBGs с различными углами наклона ($7,4^\circ$, $6,6^\circ$ и $5,4^\circ$) достигается широкополосный спектр пропускания с полосой пропускания 3 дБ в 18,5 нм, что значительно превосходит производительность одноугловых CTFBGs. Экспериментальные результаты показывают, что увеличение числа каскадных углов наклона расширяет полосу пропускания, но уменьшает глубину пропускания, что соответствует теоретическим симуляциям. Эта работа обеспечивает гибкий подход к проектированию для оптимизации широкополосности CTFBGs путем регулировки числа каскадных решеток, длин решеток и углов наклона, что полезно для повышения подавления SRS в волоконных лазерах высокой мощности.

ВОЛОКОННЫЙ ГАЗОВЫЙ RAMAN ЛАЗЕР 738 нм

Luohao Lei, Wenxi Pei, Xuanxi Li, Qi Chen, Jing Shi, Guorui Lv, Tianyu Li, Hao Li, Zhiyue Zhou, Zhixian Li, Meng Wang, Zefeng Wang, Jinbao Chen

Национальный университет оборонных технологий, Чанша, Китай

Государственная ключевая лаборатория импульсных лазерных технологий, 410073 Чанша, Китай

Глубоко-красный импульсный лазер широко используется в экологическом мониторинге, медицинских приложениях и уходе за кожей. Существуют различные методы его производства, при этом вынужденное комбинационное рассеяние (SRS) в газах является удобным методом нелинейного преобразования частоты.

Половолоконные световоды (HCFs) обеспечивают идеальную среду для усиления SRS и снижения порогов, что способствует быстрому развитию

газовых рамановских лазеров на половолоконных световодах (HCFGRLs), охватывающих широкий спектральный диапазон. Путем регулировки давления газа внутри этих волокон достигается фазовое согласование для эффективной генерации антистоксовой компоненты. Данное исследование демонстрирует HCFGRL на длине волны 738 нм в заполненном водородом антирезонансном HCF с низкими потерями, достигая рекордной средней мощности 9,71 мВт и энергии импульса 0,971 мкДж.

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ИСТОЧНИК СВЕТА НА УРОВНЕ Вт НА ОСНОВЕ ПОЛОВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА, ЗАПОЛНЕННОГО АЦЕТИЛЕНОМ, НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 3,1 МКМ

Guorui Lv, Xuanxi Li, Wenxi Pei, Qi Chen, Luohao Lei, Tianyu Li, Jing Shi, Hao Li, Zhiyue Zhou, Zhixian Li, Meng Wang, Zefeng Wang

Национальный университет оборонных технологий, Чанша, Китай

Впервые, насколько нам известно, продемонстрирован перестраиваемый непрерывный источник света на основе половолоконного антирезонансного волокна, заполненного ацетиленом, с выходной мощностью более одного ватта.

Источником накачки является трехкаскадный волоконный усилитель, легированный эрбием/иттербием, работающий на длине волны 1,5 мкм.

Используя однопроходную конфигурацию, длины волн излучения половолоконного источника света могут быть настроены в диапазоне 3101,2–3186,9 нм путем изменения длины волны лазера накачки. При мощности накачки 18,9 Вт достигается максимальная выходная мощность 2,31 Вт, что соответствует эффективности наклона 20,5 % относительно поглощенной мощности накачки.

Количество информационных листов, опубликованных в данном сборнике, – 42.

Информационный бюллетень: Достижения в области оптики, фотоники и лазерных технологий / Федеральное государственное унитарное предприятие «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2025. Вып. 4. С. 1—22.

Подписано в печать 02.09.2025.

Формат 60х84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,6. Уч.-изд. л. 1,8.

Цена договорная.

<http://ntckompas.ru>

Отпечатано в ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

125424, Москва, Волоколамское ш., д. 77