



Светодиоды и лазеры: как в Беларуси создают новейшие электронные компоненты

Микроэлектроника – важнейшая тема для всего мира. Без крошечных электронных чипов сегодня нельзя представить ни один современный гаджет. А в условиях санкций в Беларуси этой теме начали уделять приоритетное значение.



В прошлом году Минск и Москва подписали соглашение о сотрудничестве в сфере микроэлектроники. Главная задача – делать свое, чтобы заместить импортное.

Так, к примеру, появился ноутбук под отечественным брендом Horizont. Белорусских компонентов в нем пока лишь 30%, но это только начало, уверяют разработчики. Ведь сегодня продукция белорусских предприятий электронной промышленности востребована практически везде – от бытовой техники до армии и космоса.

С чего начинается производство транзисторов для любой электроники и где находится единственный в стране ростовой реактор для изготовления «прозрачных» полупроводников, применяемых для создания нового поколения транзисторов – в материале Sputnik.

Славное прошлое

История белорусской микроэлектроники началась в 60-е годы прошлого столетия. В Минске было открыто конструкторское бюро точного электронного машиностроения – ныне это производственный холдинг ОАО «Планар». Здесь разрабатывали оборудование для производства полупроводниковых компонентов и микросхем, которые поставлялись по всему Советскому Союзу. В это же время были введены в строй Завод полупроводниковых приборов им. Ф.Э.Дзержинского и завод «Транзистор».

После распада Союза электронную промышленность удалось сохранить только в Беларуси, признавался президент страны Александр

Лукашенко, хотя уже не было ни советского государственного финансирования, ни прежнего сбыта продукции. Со временем поставки удалось наладить в Россию и Китай, а отрасль – не просто сохранить, а модернизировать.

В середине 1990-х белорусские ученые из Института физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси начали сотрудничать с немецкими коллегами из института полупроводниковой техники в городе Ахен. Западных исследователей интересовала тема полупроводниковых лазеров, которой наши физики тогда интенсивно занимались (достаточно вспомнить нобелевские разработки Жореса Алферова и других российских ученых), а белорусских – технологии роста полупроводников методом осаждения металл-

В номере:

- **Светодиоды и лазеры: как в Беларуси создают новейшие электронные компоненты**
- **Представляем победителей Конкурса ЛАС-2023**
 - ▶ Учебное пособие «Основы медицинской биофотоники»
 - ▶ Разработка и освоение в серийном производстве одночастотного лазера с распределенной ОС мощностью излучения более 50 мВт»
 - ▶ Анализатор качества статических и динамических изображений АКИ»
- **ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ. Объявления**

органических соединений из газообразной фазы.

В итоге в 2002 году ученые из обеих стран первыми в мире смогли вырастить на подложках кремния полупроводниковые слои нитрида галлия и квантовые ямы на его основе лазерного качества, что открыло новые перспективы в интеграции традиционной кремниевой и широкозонной микроэлектроники. Об этом достижении писали даже мировые СМИ.

В это же время Институт физики НАН Беларуси начал тесно сотрудничать с еще одним представителем международно-признанной школы роста полупроводников – Физико-техническим институтом им. Иоффе РАН. Были созданы первые на территории СНГ экспериментальные образцы солнечнослепых ультрафиолетовых фотоприемников и ультрафиолетовых светодиодов.

В 2000-х белорусская электронная промышленность развивалась медленно, но уверенно. Производствам удалось увеличить выпуск продукции и нарастить экспорт, а науке – достичь новых высот в сфере нано- и микроэлектроники.

На всю страну такой один

В современной истории белорусская наука взяла курс на импортозамещение. В 2017 году, еще до введения западных санкций, в Институте физики НАН Беларуси был запущен единственный в стране реактор, с помощью которого можно вырастить сложные широкозонные полупроводниковые структуры для опто-, СВЧ и силовой электроники. Построили его из российских комплектующих.

Говоря научным языком, это установка молекулярно-пучковой эпитаксии. В сверхвысоком вакууме на сапфировую подложку, которая разогревается до 1000 градусов, попадают потоки различных элементов – в данном случае алюминия, галлия и индия, а также азотная плазма или аммиак. В результате на подложке вырастает «пирог» – так называемые гетероструктуры.

«Необходимо отметить, что нитрид гал-



Ростовой реактор для изготовления новых типов полупроводников был запущен в Беларуси в 2017 году.

лия является широкозонным полупроводником, прозрачным в видимой области спектра. Поэтому и сами слои нитрида галлия, и гетероструктуры «пирог слоев различного состава») на его основе выглядят как слои очень прозрачного стекла, в отличие от кремния, который выглядит как черная пластина», – по-научному вводит в курс дела исполняющий обязанности заведующего центром «Широкозонная нано- и микроэлектроника» Института физики НАН Беларуси Евгений Луценко.



Е.Луценко

После выращивания гетероструктуры поступают в ОАО «Минский НИИ радиоматериалов» или в холдинг ОАО «Интеграл», где на них отрабатывают новые технологии создания мощных СВЧ и силовых транзисторов, в перспективе будет освоено их производство.

«На основе этих полупроводников можно создавать и создаются светодиоды, лазеры, силовые транзисторы, СВЧ-транзисторы и так далее», – продолжает Е.Луценко.

По словам научного сотрудника центра Алексея Войниловича, в зависимости от размера пластины гетероструктуры из нее можно изготовить несколько тысяч миниатюрных транзисторов.

Импортозамещающая технология

О необходимости иметь новые собственные технологии в электронной промышленности говорят в последнее время часто. Этот вопрос стал более чувствительным в 2022 году, когда Запад задействовал санкционные рычаги против Беларуси и России. После чего власти двух стран обозначили приоритетную для всех сфер задачу – создавать свое.

«Технологию нужно иметь у себя дома – это и стало побудительным мотивом к созданию этой установки еще до введения санкций. Можно сказать, что именно благодаря ей произошел новый этап развития отечественной силовой электроники, поступательно развивается СВЧ-электроника», – отмечает Евгений Луценко. По его словам, в ближайшее время благодаря новым разработкам белорусских ученых можно будет решить многие насущные вопросы в отрасли.

«Дело в том, что мощные СВЧ-транзисторы (они применяются в производстве сотовых станций, спутников, радиостанций и другой передающей техники) производятся сейчас за рубежом. Но это производство можно в перспективе наладить и у нас. Силовые транзисторы – очень актуальный вопрос, они нужны практически везде. Особенно новое

поколение – маленькие массы и размеры не только самих транзисторов, но и устройств, созданных с их применением. Это актуально для беспилотников, космоса, авиации, электромобилей, электротранспорта и так далее», – констатирует физик.

В сентябре прошлого года Беларусь и Россия подписали соглашение в сфере микроэлектроники. И «Интеграл», и «Планар» ожидает серьезная технологическая модернизация, чтобы, во-первых, нарастить объемы производства микросхем и других электронных компонентов, ориентированных как на Россию, так и на белорусский рынок. При этом изделия предполагается выпускать с новыми характеристиками, новыми классами точности. В этой связи существенно повышается роль науки.

«Последние года три, наверное, мы стали решать больше задач, непосредственно связанных с производством. Началась практическая работа. Если раньше это была только характеристика, затем первые попытки роста гетероструктур, то сейчас уже четкая направленность на производство», – поясняет Евгений Луценко.

Лазерные фары

В данный момент белорусские ученые-физики задействованы в работе над пятью проектами в сфере электроники. Один из них по линии Союзного государства – разработка новых эффективных люминофоров и перспективных осветительных устройств. Ученые вместе с ОАО «Руденск» и Центром светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси уже начали работать над созданием лазерных излучателей для автомобильных фар. Предполагается, что в будущем вся автомобильная оптика будет содержать лазерные источники света.

«Программа только-только началась, продолжаться она будет четыре года. Планируется использовать их (лазерные источники света) на автомобилях в режиме дальнего света при быстрой езде, к примеру, от 80 км/ч, что в два раза позволит увеличить видимость и тем самым увеличит безопасность на скоростных трассах. Также они могут применяться для тактической подсветки», – уточняет Евгений Луценко.

Ультрафиолетовые перспективы

Еще одно задание научно-технической программы Союзного государства звучит так – разработка базовой технологии перспективных широкозонных нитридных гетероструктур и создание на их основе образцов оптоэлектронных устройств различного назначения. Речь идет об ультрафиолетовых фотодиодах и УФ-фотоприемниках.

И если в разработке УФ-фотодиодов во всем мире сейчас идет высочайшая конкуренция (что

обусловлено перспективами их массового применения для дезинфекции, обеззараживания вирусов и непосредственного воздействия на белок и ДНК), то УФ-фотоприемники – сфера конкурентоспособная для белорусских разработчиков. Они востребованы для ультрафиолетовой дозиметрии, сенсорики, скрытой связи, охраны периметра, а также для систем активной защиты. В реализации этого задания будет принимать участие белорусский завод «Интеграл».

Транзисторы для авиации, БПЛА и космоса

Помимо двух союзных заданий в сфере микроэлектроники, в рамках госпрограммы выполняются два мероприятия по созданию технологичной молекулярно-пучковой эпитаксии гетероструктур на основе нитрида галлия, разработке и изготовлению на их основе мощных СВЧ-транзисторов и нового поколения транзисторов силовой электроники.

Эти мероприятия осуществляются при непосредственном участии производителей СВЧ-микросхем – Минского НИИ радиоматериалов и силовой электроники и «Интеграла».

Для мощных СВЧ-транзисторов рынки традиционные – в основном это радиолокационная техника, получившая развитие в активных фазированных антенных решетках и их цифровых разновидностях для новых поколений самолетов, кораблей, 5G и 6G радиовышки мобильной связи, спутниковые и наземные СВЧ телекоммуникации.

Для нового поколения силовых транзисторов рынки только формируются и бурно развиваются. Эти электронные компоненты актуальны для беспилотных летательных аппаратов, авиации, моторизированных платформ, робототехники, электромобилей и электротранспорта, гаджетов – в общем там, где масса и габариты имеют значение.

«А поскольку нитрид галлия является широкозонным полупроводником, его радиационная, химическая, термическая и механическая стойкость намного превышает стойкость



Установку молекулярно-пучковой эпитаксии построили из российских комплектующих.

кремния. И поэтому наиболее широко раскрыть свой потенциал поколение силовых транзисторов сможет в космических и экстремальных условиях эксплуатации», – подчеркивают в Институте физики НАН.

Широкий интерес

Также, по словам *Евгения Луценко*, многолетний белорусский опыт в характеристике широкозонных гетероструктур, приобретенный с немецкими и российскими коллегами, интересен Индии. Кроме того, тамошние ученые пользуются опытом и уникальным оборудованием, созданным в Институте физики для характеристики своих разработок широкозонных гетероструктур в рамках текущего контракта.

Недавно в Беларуси была утверждена программа развития микроэлектронной промышленности до 2030 года. За это время респуб-

лика собирается минимум в три раза увеличить объем выручки от продажи микроэлектроники.

Как заявлял вице-премьер страны *Петр Пархомчик*, суммарный объем выручки от реализации продукции отечественной микроэлектроники и электронного машиностроения к 2025 году вырастет до 200 млн долларов. К 2030-му прибыль достигнет 330-350 млн долл.

Увеличивать выручку белорусским предприятиям электронной промышленности будет помогать Россия: уже формируется список необходимых соседней стране электронных компонентов, согласована дорожная карта развития микроэлектронного производства.

SPUTNIK Беларусь,

<https://sputnik.by/20230420/svetodiody-i-lazery-kak-v-belarusi-sozdayut-noveyshie-elektronnyye-komponenty-1074633744.html>

Представляем победителей Конкурса ЛАС (2023) на лучшую отечественную разработку в области лазерной аппаратуры и лазерно-оптических технологий, вышедшую на рынок в 2021-2022гг.*

*Номинация «Информационные материалы
и лабораторное оборудование»*

Диплом I степени

Учебное пособие «Основы медицинской биофотоники»

Авторский коллектив:

*А.В.Дунаев, Е.В.Потапова, А.К.Королева, Е.О.Брянская К.Ю.Кандурова, Е.В.Жарких,
В.В.Дрёмин, Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева*

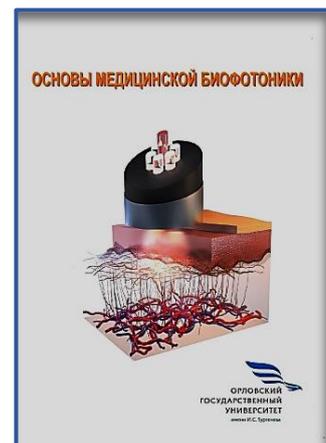


Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 31.05.01 «Лечебное дело» и 31.05.02 «Педиатрия». Оно может быть полезно для студентов других медицинских и технических специальностей, например, по направлению магистратуры «Биотехнические системы и технологии» (направленность «Фотоника и электроника в медико-биологической практике»), а также преподавателей и медицинских работников в их профессиональной деятельности.

В медицинской диагностике нарушений в системе микроциркуляции крови, служащих сигналом развития у пациента ряда заболеваний, активно применяются оптические технологии. Данные методы являются точными, достоверными, безболезненными, простыми в использо-

вании и позволяют получать результаты исследования в режиме реального времени. Поэтому подготовка современных врачей невозможна без ознакомления студентов медицинских специальностей с методами медицинской биофотоники. Именно популяризации применения современных оптических технологий для проведения медицинской диагностики и посвящена данная работа.

Представленный в учебном пособии материал обобщает передовой отечественный и зарубежный опыт применения методов оптической диагностики, многолет-



многолетний опыт преподавания авторами «Основ медицинской биофотоники» студентам-медикам, обеспечивший успешное освоение данной дисциплины более чем 2 500 студентами за 7 лет. Также в работе нашли отражение результаты научно-исследовательских работ авторов, выполненных в рамках проекта РФФ (№ 21-15-00325), проектов РФФИ (№ 19-29-14194, № 20-32-90147), гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-398.2021.4, а также инициативные разработки научно-технологического центра биомедицинской фотоники Орловского государственного университета имени И.С.Тургенева.

В работе содержится актуальная информация об объектах исследования медицинской биофотоники, чему посвящен первый раздел работы. Микроциркуляторно-тканевая система является одновременно сложной и информативной структурно-функциональной единицей сердечно-сосудистой системы для изучения со стороны медицины. В учебном пособии описаны базовые основы особенностей анатомического строения и функционирования микроциркуляторного русла кожи, как наиболее доступного для исследований объекта диагностики. Приведены основные оптические свойства кожи и крови, изменения которых заложены в основу диагностики нарушений в системе микроциркуляции крови методами биомедицинской фотоники. Дополнительно в качестве объекта диагностики описана физиология и патология верхнечелюстных пазух (ВЧП).

Второй раздел учебного пособия посвящен применению современных методов биофотоники в медицинской диагностике. Здесь подробно рассмотрены физические принципы, сущность и сфера применения различных оптических технологий. Приводятся описания методик проведения исследований с использованием этих методов и интерпретаций полученных результатов.

Наиболее хорошо изученным и широко применяемым в клинической практике является метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). История развития метода, его физические основы широко представлены не только в научной, но и в учебной литературе других авторов. Достоинством учебного пособия является систематизация диагностических критериев для проведения комплексного исследования методом ЛДФ, типология расстройств микроциркуляции периферического кровотока и описание их характеристик, рассмотрение конкретных примеров применения метода с широким перечнем литературных источников для дополнительного изучения в зависимости от профессиональных интересов читателя.

Среди методов, позволяющих оценивать га-

зотранспортную функцию крови (доставку кислорода к тканям), в пособии описаны оптическая тканевая оксиметрия, пульсоксиметрия и спектроскопия диффузного отражения. Также уделено внимание основам неинвазивной диагностики метаболических процессов в биологических тканях методом флуоресцентной спектроскопии.

Огромное значение в медицинской диагностике играют функциональные (нагрузочные) пробы (тесты), оказывающие возмущающее воздействие или дозированную нагрузку на различные системы организма человека, в результате чего в зависимости от их состояния возникает определенный функциональный сдвиг, анализируя который можно оценить их функциональное состояние и выявить нарушения. В медицинской практике чаще всего применяют окклюзионную, дыхательную, постуральную (ортостатическую) и температурные пробы, методика их проведения, диагностические критерии и интерпретация полученных результатов подробно рассматриваются в работе.

Также в работе описан неинвазивный и эффективный диагностический инструмент, широко используемый в диагностике микроциркуляторных нарушений при заболеваниях в области кардиологии, флебологии, эндокринологии, ревматологии и других областях – метод видеокапилляроскопии. Диагностика этим методом осуществляется посредством оценки морфологии капилляров и анализа их статических и динамических параметров.

С развитием цифровых технологий растет востребованность оптических методов диагностики в отоларингологии, в частности, для диагностики патологий ВЧП. Наиболее безопасным, безболезненным, недорогим и весьма достоверным методом диагностики в этой области в сравнении с имеющимися аналогами является метод цифровой диафаноскопии. Метод цифровой диафаноскопии заключается в частичном или полном ослаблении зондирующего излучения при его прохождении через различные органы и ткани. При этом в процессе диагностики осуществляется зондирование ВЧП излучением с длинами волн 650 и 850 нм. Затем с помощью КМОП-камеры регистрируется картина рассеяния света. Цифровая обработка полученных изображений на ПК производится с помощью специализированного ПО. Этот метод позволяет визуализировать наличие различных патологий в ВЧП (киста, опухоль, гайморит) за счет сильных поглощающих особенностей данных патологий на выбранных длинах волн.

На **рис. 1** представлен пример исследования пациента с кистозной жидкостью в левой ВЧП, при этом пазуха с патологией характеризуется наличием сильного поглощения света.

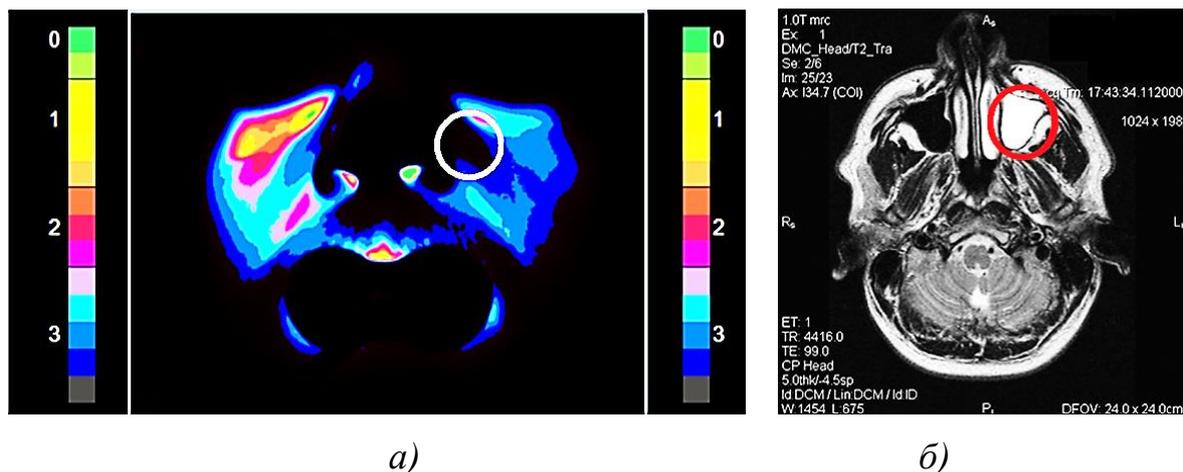


Рис. 1 Пример исследования пациента с кистой в левой ВЧП, где

а – результат цифровой обработки зарегистрированной методом цифровой диафаноскопии на длине волны 850 нм картины рассеяния света, б – результат МРТ исследования

Для закрепления теоретического материала учебное пособие включает в себя контрольные вопросы, а также большой блок тестовых заданий и задач.

Учебное пособие «Основы медицинской биофотоники» дает общее представление о совре-

менных методах биофотоники, применяемых в медицине, закладывая фундамент знаний в области оптической диагностики, а представленный материал адаптирован для лучшего понимания и усвоения студентами даже младших курсов, делающих первые шаги в этой области.

★ ★ ★

**Номинация «Источники лазерного излучения и их компоненты, устройства управления лазерным лучом и его транспортировки»
(конкурс имени М.Ф.Стельмаха)**

Диплом II степени

**Разработка и освоение в серийном производстве
одночастотного лазера с распределенной обратной связью
мощностью излучения более 50 мВт**

*Авторский коллектив: О.О.Багаева, А.И.Данилов, А.В.Иванов, В.Д.Курносков, К.В.Курносков, Ю.В.Курнявко, М.А.Ладугин, А.А.Мармалюк, В.И.Романцевич, В.А.Симаков, Р.В.Чернов, В.В.Шишков, АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стельмаха», г.Москва
Р.Р.Галиев, ИСВЧПЭ им. В.Г.Мокерова РАН, г.Москва*



В настоящее время резко возрос интерес к мощным одночастотным лазерам с распределенной обратной связью (РОС-лазерам), излучающим в диапазоне длин волн 1400 – 1600 нм. Такие лазеры широко используются в телекоммуникациях, в когерентных волоконно-оптических линиях связи со спектральным уплотнением каналов, волоконно-оптических датчиках, лазерной спектроскопии высокого разрешения, стандартах частоты, научном приборостроении и т.д.

Применение РОС-лазеров является единственным способом реализации технических требований для высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи информации на расстояние более 20–50 км. Для уменьшения влияния дисперсии на передачу в волокне информационных сигналов необходимо использовать одночастотные лазеры, которыми являются РОС-лазеры. В спектре излучения лазера с резонатором Фабри-Перо наблюдается наличие сразу нескольких продольных мод, в то



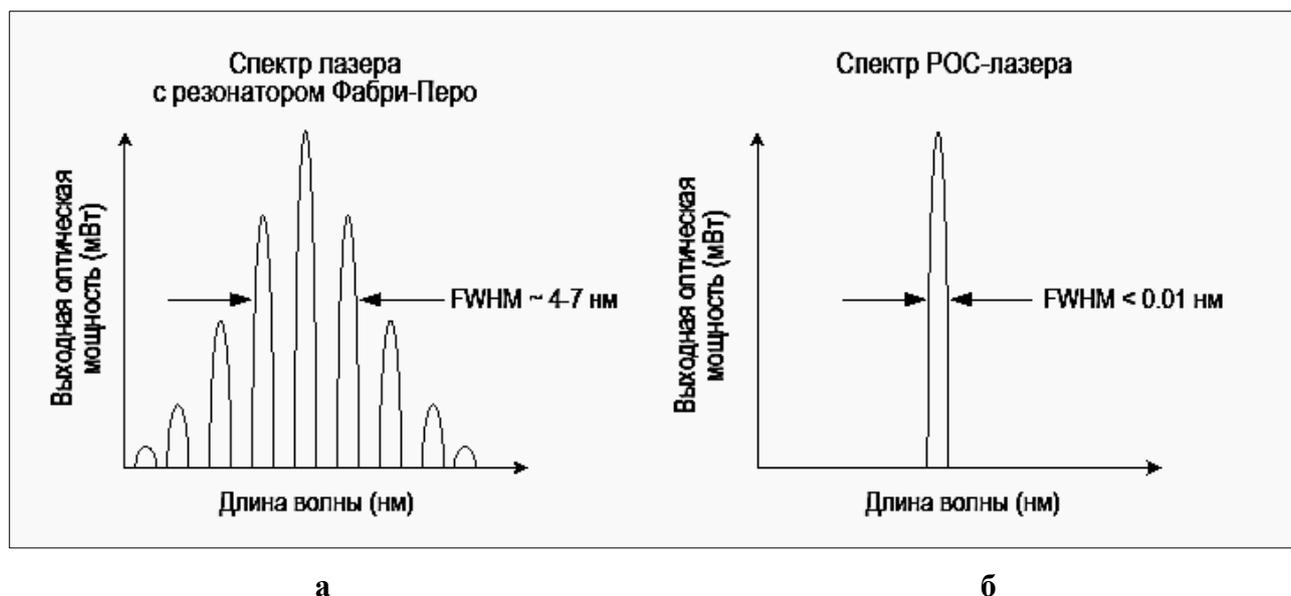


Рис.1 Типичный спектр лазера с резонатором Фабри-Перо (а) и спектр РОС-лазера (б)

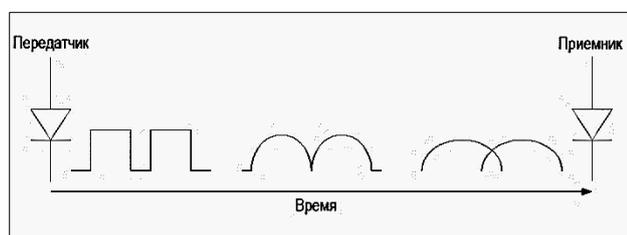


Рис.2 Искажение передаваемого сигнала при распространении световых импульсов в волокне

время как излучение РОС-лазера является одночастотным с сильным подавлением боковых мод. На **рис.1** схематично представлен типичный спектр лазера с резонатором Фабри-Перо и спектр РОС-лазера. Наличие нескольких мод в спектре лазера с резонатором Фабри-Перо накладывает ограничение на скорость и дальность передачи информации в волоконно-оптических линиях связи. Оптическое волокно представляет собой дисперсионную среду и в процессе распространения по нему световых импульсов последние расширяются, из-за чего передаваемый сигнал подвергается искажениям (см. **рис.2**). Для уменьшения влияния дисперсии на передачу в волокне информационных сигналов необходимо использовать одночастотные лазеры.

За счет одночастотного спектра излучения и лучшей линейности ватт-амперной характеристики по сравнению с традиционными лазерными диодами использование РОС-лазеров снижает шумы в линиях передачи информации, увеличивает отношение сигнал/шум и расширяет динамический диапазон. Для увеличения скорости передаваемой информации совместно с РОС-лазером необходимо использовать внешний модулятор, полоса частот модуляции которого может превышать 30 ГГц.

РОС-лазеры также могут быть использованы в качестве источников накачки волоконно-оптических усилителей, легированных Er^{3+} , и рамановских волоконных усилителей в диапазоне длин волн 1400-1600 нм. Для таких применений лазерных диодов необходимы постоянная выходная рабочая мощность на уровне сотен милливатт, точная пиковая длина волны излучения, высокая излучательная эффективность лазерного диода и эффективность ввода в одномодовое оптическое волокно. Мощные полупроводниковые лазеры нашли широкое применение в медицине, в системах мониторинга окружающей среды, в системах спектроскопии промышленных газов. Считается, что излучение в диапазоне 1.5–1.6 мкм не опасно для глаза человека.

В результате выполнения работы был создан одночастотный лазер ИЛПН-249 на основе полупроводникового лазера с распределенной обратной связью с длиной волны излучения 1,55 мкм и мощностью на выходе волоконно-оптического кабеля не менее 50 мВт. Фотография лазера ИЛПН-249 представлена на **рис.3**.

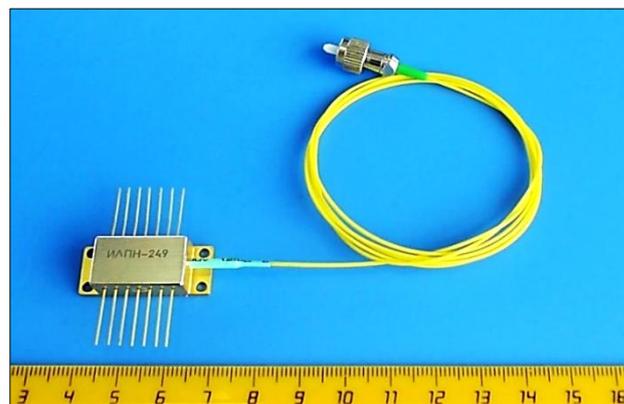


Рис.3 Фотография лазера ИЛПН-249.

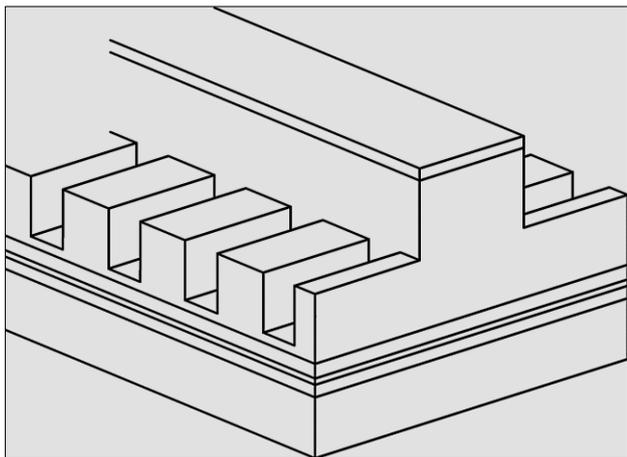


Рис.4 Лазерная гребневая структура с латерально связанной брэгговской решёткой.

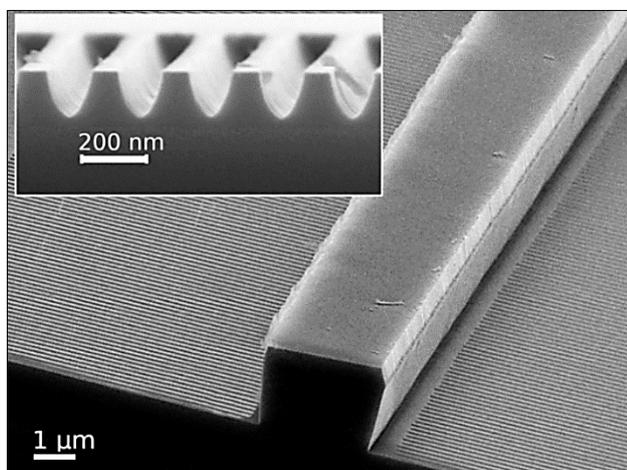


Рис.5 Электронная микрофотография гетероструктуры с мезаполоской и брэгговской решёткой.

На вставке показано поперечное сечение решётки.

Ключевым элементом разработанного лазера ИЛПН-249 является полупроводниковый лазерный диод (ЛД) с распределенной обратной связью. Для получения одномодового режима излучения лазерных диодов используется схема с латерально связанной брэгговской решёткой, являющейся селективным для длины волны элементом. Общий вид подобной лазерной структуры схематично показан на рис.4.

Такая решётка обычно встроена в лазерный кристалл и располагается с обеих сторон от гребня так, чтобы «крылья» распределения интенсивности электромагнитной волны, распространяющейся в волноводной области генерации под гребнем, проникали в область решётки, благодаря чему возникала оптическая связь между решёткой и волной. В данной работе частотная селективность формируется за счёт модуляции показателя преломления среды вдоль распространения волны излучения. Волна при этом испытывает многократные отражения в областях изменения показателя преломления, а при определенных условиях, в зависимо-

сти от геометрии решётки, фазовые соотношения приводят к эффективной селекции мод вплоть до установления одномодового режима генерации.

В процессе разработки были изготовлены полностью отечественные гребневые одночастотные лазерные диоды с боковой дифракционной решеткой первого порядка на длину волны излучения 1.5 - 1.6 мкм. Выращивание гетероструктуры (ГС), формирование активного элемента, сборка и исследование параметров проводилось в АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стедьмаха», дифракционная решетка формировалась с помощью электронно-лучевой литографии в ФГАНУ ИСВЧПЭ им. В.Г.Мокерова РАН [1].

При разработке лазера одной из основных задач являлась задача разработки технологии выращивания квантово-размерных ГС, формирования мезаполоскового лазерного диода, обеспечивающего мощностью излучения более 120 мВт. Мощность излучения на выходе оптического соединителя лазера должна быть не менее 50 мВт, поэтому с учетом (50-60)% ввода излучения в одномодовое волокно и с учетом технологического запаса, мощность излучения ЛД должна быть не менее 120 мВт. При этом должны отсутствовать изломы на ватт-амперной характеристике ЛД. Наличие излома объясняется переключением излучения с нулевой моды на моду первого порядка. Это приводит к изменению диаграммы направленности излучения ЛД и к уменьшению ввода излучения в одномодовое волокно. В проведенной работе удалось решить эту проблему за счёт уменьшения мезаполоска до 3 мкм и применением специальных диэлектрических покрытий на грани резонатора ЛД.

Обычно процесс создания РОС-лазера включает в себя два цикла: выращивание требуемой ГС и формирование брэгговской решетки. Для завершения процесса формирования структуры лазерного прибора необходимо закрыть открытую поверхность решетки полупроводниковым материалом, используя процесс эпитаксиаль-

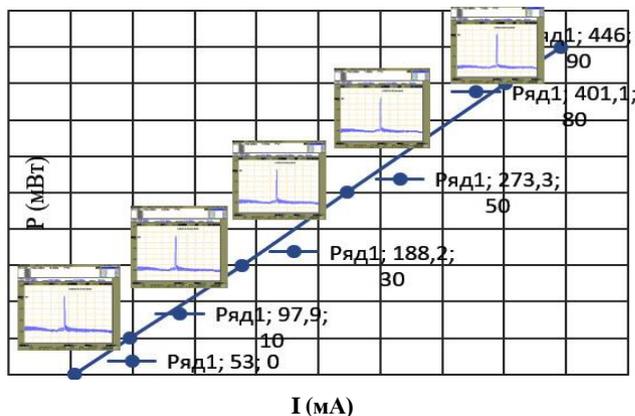


Рис.6 Типичная ватт-амперная характеристика ИЛПН-249.

Табл.1 Основные технические характеристики лазера ИЛПН-249

Параметр	Значение
Длина волны излучения	1540 ... 1560 нм
Рабочий ток	не более 500 мА
Оптическая выходная мощность	не менее 50 мВт
Коэффициент подавления побочной моды SMSR	не менее 30 дБ
Относительная интенсивность шума RIN	не более -150 дБ/Гц
Рабочая температура	-60 ... +55 °С
Температура при транспортировании и хранении	-60 ... +60 °С

ного наращивания, что связано с рядом технологических сложностей, приводящих к формированию дефектов. Этих недостатков можно избежать, применяя технологию, которая основана на использовании продольной решетки Брэгга, расположенной по бокам активной области и оптически связанной с ней.

Для изготовления ЛД использовались квантово-размерные гетероструктуры в системе AlInGaAs/InP. В настоящей работе при изготовлении прибора на выращенной ГС формировался мезаполосок шириной 2.5-3 мкм, с глубиной травления, не доходящей до волноведущего слоя (активная область не травилась). Затем справа и слева от мезаполоска с помощью электронно-лучевой литографии формировалась брэгговская решетка первого порядка со сдвигом $\pi/4$ и периодом, задаваемым в зависимости от параметров ГС. Точность задания среднего периода составляла 0.1 нм, а когерентность порядка расположения штрихов соблюдалась на расстоянии не менее 10 мм. Глубина травления решетки составляла от 60 до 250 нм.

Затем следовал стандартный процесс изготовления активного элемента лазера, включающий нанесение диэлектрических слоев, фотолитографию, напыление **металлизации** и т.д. Длина резонатора РОС-лазера была 1.6 мм. На плоскопараллельные грани

резонатора наносились отражающие и просветляющие покрытия с коэффициентами отражения ~100% и 5% соответственно. Такая конструкция активного элемента ЛД обеспечивает мощностью излучения более 120 мВт. Электронная микрофотография гетероструктуры с мезаполоском и брэгговской решеткой представлена на **рис.5**.

Активный элемент ЛД монтировался в корпусе типа «butterfly» на термоэлектрическом охладителе. Одномодовое оптическое волокно юстировалось относительно активной области ЛД для максимального ввода оптического излучения и фиксировалось припоями. Отрезок одномодового кабеля с оптическим соединителем FC/APC обеспечивает возможность подключения лазера к внешнему модулятору и волоконно-оптической линии передачи информации. Для уменьшения величины мощности, отраженной от оптического

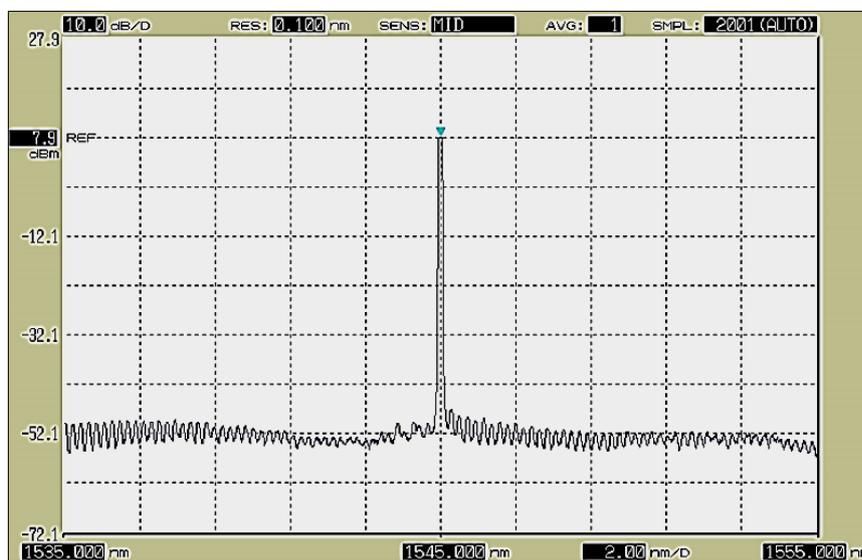


Рис.7 Типичный спектр генерации лазера ИЛПН-249.

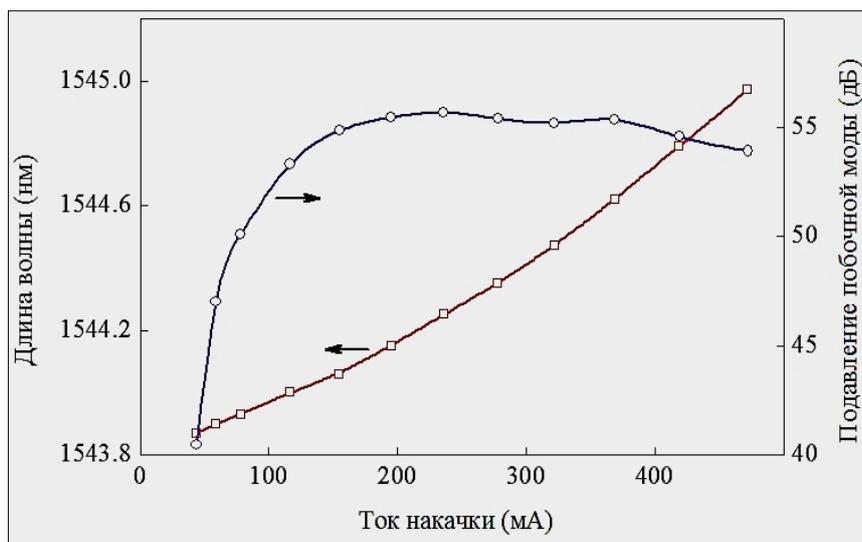


Рис.8 Зависимости длины волны и коэффициента подавления побочной моды от тока накачки ИЛПН-249.

соединителя, применен «закошенный» оптический соединитель типа FC/APC.

С помощью термоэлектрического охладителя и терморезистора, входящего в состав лазера, можно стабилизировать рабочую точку ЛД при изменении рабочей температуры окружающей среды в диапазоне от минус 60°C до 55°C.

В состав лазера также входит фотодиод обратной связи (ФДОС), который служит для поддержания постоянной мощности излучения. При старении ЛД уменьшается его оптическая мощность излучения, что приводит к уменьшению тока ФДОС. Внешняя электронная система должна увеличивать ток накачки ЛД и поддерживать постоянной его мощность излучения.

Основные технические характеристики лазера ИЛПН-249 приведены в **табл.1**.

Следует отметить, что у изготовленных лазеров ИЛПН-249 оптическая мощность 50 мВт на выходе волокна достигалась при токе накачки порядка 300 мА, при этом подавление боковых мод составляло величину более 55 дБ.

На **рис.6** представлена типичная ватт-амперная характеристика, а на **рис.7** представлен типичный спектр генерации лазера ИЛПН-249.

На **рис.8** представлены зависимости длины волны излучения и коэффициента подавления побочной моды от тока накачки ИЛПН-249.

Заключение

В ходе проведенной работы была разработана технология изготовления и освоение в серийном производстве одночастотных лазеров с распределенной обратной связью мощностью излучения более 50 мВт и длиной волны излучения 1,55 мкм.

Литература

[1] *О.О.Багаева, Р.Р.Галиев, А.И.Данилов, А.В.Иванов, В.Д.Курносков, К.В.Курносков, Ю.В.Курнявко, М.А.Ладугин, А.А.Мармалюк, В.И.Романцевич, В.А.Симаков, Р.В.Чернов, В.В.Шишков / Экспериментальные исследования мощных полупроводниковых одночастотных лазеров спектрального диапазона 1.5-1.6 мкм // Квантовая электроника, т.50, №2, 2020, стр. 143-146*

* * *

Номинация «Информационно-управленческие технологии и системы фотоники»

Диплом III степени

Анализ качества и цифровая обработка статических и динамических изображений при наблюдении в турбулентной атмосфере

Авторский коллектив: П.А.Коняев, В.П.Лукин, Н.Н.Ботыгина, Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, г.Томск



Для решения прикладных задач, связанных с получением неискажённых изображений в атмосфере, уже давно и успешно используется подход, основанный на цифровой регистрации двумерных оптических изображений и последующего

улучшения их качества методами компьютерной обработки сигналов [1,2]. В атмосферной оптике использование цифровой обработки изображений в последнее время становится особенно актуальным. Постоянный прогресс в компьютерной и цифровой видеотехнике, стимулирующий дальнейшее развитие алгоритмов реконструкции цифровых изображений, даёт возможность их применения в реальном масштабе времени, в частности, непосредственно при наблюдениях на атмосферных трассах большой протяжённости. Опубликован ряд ста-

тей, в которых предложены методы накопления динамических коротко-экспозиционных видеокладов с последующей цифровой фильтрацией, а также достаточно сложные алгоритмы синтеза и реконструкции, включающие стабилизацию кадра, его сегментирование, стабилизацию фрагментов кадра, рекуррентное усреднение и обратную (инверсную) фильтрацию [3]. Для стабилизации дрожания кадра и области интереса в нём авторами разработан эффективный алгоритм корреляционного слежения с нормировкой, работающий в условиях шумовой засветки [4]. Предложены процедуры измерения в процессе наблюдения величины параметра турбулентности для реконструкции изображения [5].

Результатом настоящей работы является аппаратно-программная реализация вышеупомянутых алгоритмов в виде прибора для анализа и цифровой обработки видеосигналов. Путём модификации стандартных оптико-электронных



Рис.1 Анализатор качества цифровых изображений (слева) в схеме адаптивной оптики на БСВТ Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН и мобильная система наблюдения и анализа изображений с измерением параметров атмосферной турбулентности (справа).

приборов промышленного изготовления и развёртывания на их основе специально разработанного программного обеспечения, создан прибор АКИ, предназначенный для цифровой регистрации и количественного анализа статических и динамических изображений, а также для проведения наблюдений на атмосферных трассах с одновременной коррекцией изображений в реальном масштабе времени.

Анализатор качества статических и динамических изображений АКИ

Анализатор АКИ позволяет применять алгоритмы цифровой обработки двумерных сигналов, предназначенные для коррекции искажений изображений при наблюдении на атмосферных трассах. Алгоритмы восстановления размытого изображения, основанные на методе обратной (инверсной) динамической фильтрации пространственных частот, реализованы с помощью процедур параллельных вычислений. Техно-экономические преимущества АКИ: по сравнению с аналогами может работать *в реальном времени наблюдения* с частотой приёма кадров до 300 Гц благодаря эффективным быстродействующим алгоритмам параллельной обработки сигналов. В анализаторе реализованы 3 критерия оценки качества изображения, корреляционный метод измерения и коррекции смещения динамического изображения и его фрагментов, методы адаптивного синтеза изображения и цифровой пространственной фильтрации.

Области применения: прикладная оптика, исследования процессов распространения оптического излучения в атмосфере, адаптивная оп-

тика, солнечные и астрономические наблюдения. Может применяться как инструмент адаптивной системы коррекции, отбора и синтеза изображений высокого качества из последовательности регистрируемых кадров в реальном масштабе времени.

Анализатор качества изображения АКИ прошел отработку с цифровой видеокамерой Allied Prosilica GE-680 в схеме адаптивной оптической системы Байкальской астрофизической обсерватории и включен в состав солнечного телескопа БСВТ (**рис.1 слева**).

Для наблюдений на атмосферных трассах создана мобильная версия системы АКИ на базе телескопа Celestron NexStar 6 и цифровой видеокамеры Allied Mako G-030B с питанием PoE (Ethernet) от ноутбука (**рис.1 справа**).

В стандартный набор функций цифровой обработки прибора АКИ входят:

- медианная фильтрация видеок кадров от импульсных пиксельных помех;
- анализ качества по критериям контраста, резкости и пространственного спектра изображения;
- селекция кадров по критериям качества (отбор наилучших изображений);
- стабилизация кадров методом корреляционного слежения;
- сегментирование кадров и стабилизация фрагментов;
- рекурсивное усреднение и обратная цифровая фильтрация;
- дополнительное усиление резкости (оператор Лапласа);
- измерение параметров атмосферной турбулентности в процессе наблюдения.

Алгоритмы цифровой обработки изображений

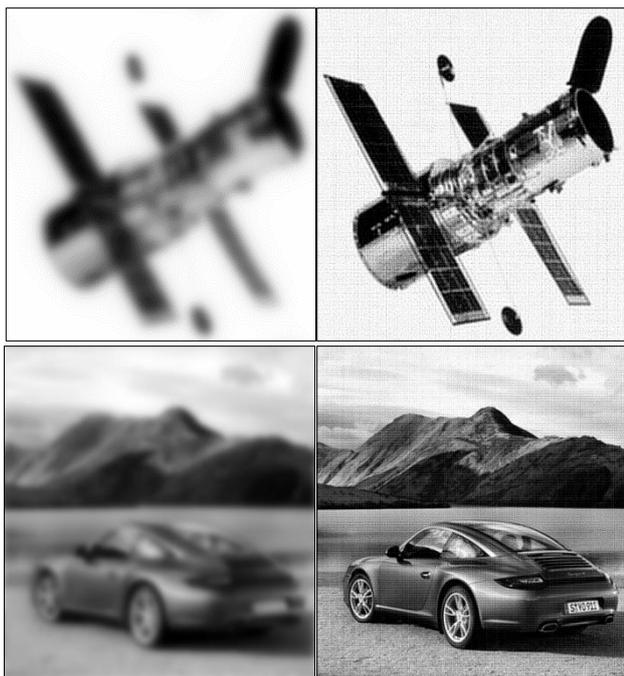


Рис.2 Пример компьютерного моделирования атмосферного размытия при $D/r_0=10$ цифровых фотографий (слева) и результат восстановления изображения (справа).

Для описания размытия изображения в турбулентной атмосфере используется выражение для функции передачи модуляции (ФПМ) режимов ближнего и дальнего поля [6]:

$$H(\omega) = \exp\left\{-3.44(\omega/\omega_t)^{5/3}\left[1-\alpha(\omega/\omega_d)^{1/3}\right]\right\}$$

где $\omega_d = D/\lambda$, $\omega_t = r_0/\lambda$ – частоты среза пространственно-частотного фильтра ФПМ, ответственные за дифракцию и турбулентность соответственно, D – диаметр телескопа, r_0 – радиус когерентности [7]. Значение длины волны для естественного освещения принимается за среднюю величину $\lambda = \bar{\lambda} = 0.5\mu$. Параметр α отвечает за время экспозиции ($\alpha=0$, режим длительной экспозиции $T>0.01$ сек) и характер искажений на дистанции L : только фазовые ($\alpha=1$, режим ближнего поля $D \gg \sqrt{\lambda L}$) или амплитудно-фазовые ($\alpha=0.5$, режим дальнего поля $D \ll \sqrt{\lambda L}$). Параметр D/r_0 определяет силу турбулентного размытия изображения, формируемого при наблюдении. Влияние атмосферы начинает проявляться при значениях $D/r_0 > 1$ и достигает величины $D/r_0 = 10$ и более при сильной турбулентности.

Компьютерное моделирование турбулентного расплывания объектов реальной сцены, проведенное с использованием цифровых фотографий, демонстрирует эффективность метода обратной фильтрации для восстановления оригинального качества образцов (**рис.2**). Для устранения искажений, вносимых ФПМ размы-

тия, в блоке компьютерной обработки реализован цифровой оператор обратной фильтрации в виде $H_c(\omega) = H^{-1}(\omega)$. Реконструкция изображения на входе алгоритма вычисления обратного фильтра требует задания значений параметров α и D/r_0 . Параметр α выбирается согласно условиям наблюдения – длине трассы и длительности экспозиции. Параметр турбулентности D/r_0 как правило не известен, но может быть измерен, причём непосредственно в процессе наблюдения [5,7].

Примеры обработки реальных изображений на атмосферных трассах

Разработанные и проверенные на моделях алгоритмы показали высокую эффективность при реконструкции изображений объектов в реальных условиях. На **рис.3** приведены результаты восстановления качества изображений солнечных пятен и грануляции, полученных на Большом солнечном вакуумном телескопе (БСВТ) Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН.

Регрессионный рекурсивный алгоритм усреднения кадров с короткой экспозицией позволяет восстанавливать изображение в условиях сильного замутнения в дожде и снегопаде. Пример реконструкции на приземной горизонтальной трассе приведен на **рис.4**.

Реставрация изображения методами рекур-

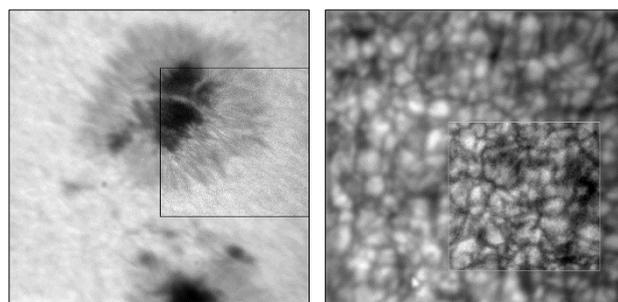


Рис.3 Реальные изображения солнечных пятен (слева) и картины грануляции (справа) после реконструкции методом обратной фильтрации. Телескоп БСВТ Байкальской АО ИСЗФ СО РАН.

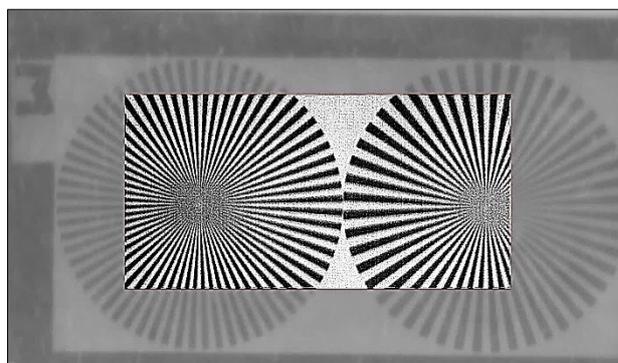


Рис.4 Реконструкция замутнённых изображений радиальных мир во время наблюдения на приземной трассе ИОА СО РАН протяжённостью 110м в условиях снегопада.



Рис.5 Пример коррекции экспозиции и турбулентного размытия видеокadres методом рекурсивного накопления и обратной фильтрации на горизонтальной трассе 450м полигона ИОА СО РАН. Условия наблюдения: сумерки, умеренная турбулентность, параметр $D/r_0 \sim 7$.

сивного накопления и обратной фильтрации может быть очень эффективна в ситуациях, когда коррекцию турбулентного размытия необходимо проводить в сочетании с другими дефектами регистрации, например неправильной экспозицией или засветкой ярким источником (рис.5).

В условиях сильной турбулентности в кадре изображения могут появляться зоны «анизопланатизма», смещения которых независимы друг от друга, и возникает необходимость в сегментировании кадров. Это усложняет вычисления и может замедлить работу компьютерной программы, затрудняя процесс компьютерной обработки при наблюдении в реальном времени. С целью ускорения вычислений, для реализации всех процедур измерений и цифровой обработки были созданы параллельные вычислительные алгоритмы, основанные на функциях библиотек Intel MKL и IPP. Разработанное программное обеспечение апробировано на трассах ИОА СО РАН.

Наблюдения за реальными объектами на приземной трассе 2км проводились в дневное время суток в условиях умеренно-слабой турбулентности $D/r_0 \sim 5$. На рис.6 слева показан один

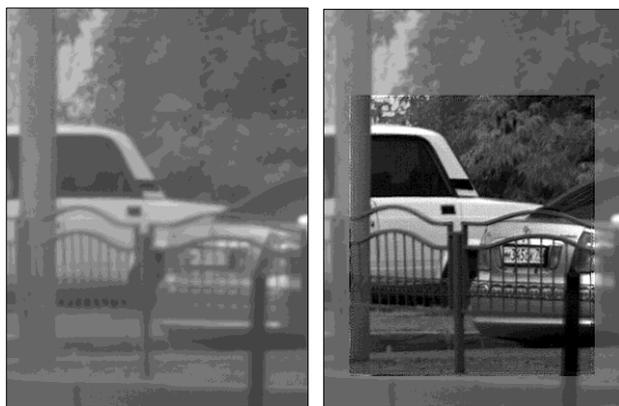


Рис.6 Пример размытого атмосферой реального изображения на трассе 2 км до цифровой обработки (слева) и результат восстановления области интереса ROI в процессе наблюдения (квадрат в центре справа).

из кадров – короткоэкспозиционное ($< 1\text{мс}$) мгновенное размытое изображение сцены без обработки. Область интереса (ROI) находится в центре кадра и имеет квадратную форму с размерами 256×256 пикселей. После стабилизации области ROI в каждом кадре видеоряда, производилось их рекурсивное усреднение, обратная фильтрация и вывод на монитор с частотой 25гц (рис.6 справа). Сравнение изображений позволяет судить об эффективности коррекции атмосферного размытия [5].

Заключение

Области применения разработки: астрофизика и астрономия, атмосферная оптика, адаптивная оптика, сопровождение и проведение наблюдений при лабораторных и полевых испытаниях оптических систем, проектирование оптико-электронных систем и комплексов. Может использоваться в качестве мобильного многофункционального оптического измерителя параметров турбулентности в полевых условиях на атмосферных трассах малой и большой протяжённости.

В настоящее время макет прибора АКИ передан и внедрен в Институте солнечно-земной физики СО РАН (ИСЗФ СО РАН) на Большом солнечном вакуумном телескопе Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (пос. Листвянка, Иркутская область). Мобильная версия анализатора АКИ используется в ИОА СО РАН (г.Томск) в лабораторных и полевых экспериментах при выполнении гранта РФ (2022-2023).

Литература

- [1] Гудмен Дж. Статистическая оптика. М. Мир, 1988. 528 с.
- [2] Бейтс Р, Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. М. Мир, 1989. 528 с.
- [3] Аверин А.П., Морозов Ю.Б., Пряничников В.С., Тяпин В.В. Компьютерная коррекция турбулентных искажений изображения протяжённого объекта на приземных трассах // Квантовая электроника. 2011. Т.41, №5. С.475-478.
- [4] Кonyaев Р.А., Лукин В.П., Ботыгина Н.Н., Емалеев О.Н. Wavefront sensors for adaptive optical systems // Measurement Science Review. 2010. V.10, №3. P.102-107.
- [5] Коняев П.А., Обработка цифровых изображений для коррекции атмосферных турбулентных искажений в реальном времени // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т.34, № 7. С. 564–568.
- [6] Fried D.L. Optical resolution through a randomly inhomogeneous medium for very long and very short exposures // J. Opt. Soc. Am. 1966. V.56, №10. P. 418-420.
- [7] Коняев П.А., Ботыгина Н.Н., Антошкин Л.В., Емалеев О.Н., Лукин В.П. Об измерении структурной характеристики показателя преломления атмосферы пассивными оптическими методами // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т.28, №8. С.738–741.

ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ**Коммуникации со скоростью света: новосибирские ученые разрабатывают лазер на квантовых для систем связи**

Ученые Института физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН (ИФП СО РАН) создают отечественную электронно-компонентную базу для волоконно-оптических линий связи. Работы ведутся при поддержке Российского научного фонда (РНФ) и Правительства Новосибирской области.

Информация по волоконно-оптическим линиям связи (оптоволокну) передается с помощью света, свет определенной длины волны излучает лазер. В сравнении с передачей данных посредством электрического тока по медному коаксиальному кабелю это дает выигрыш в скорости, помехоустойчивости и экономии веса — оптоволокну легче металлического кабеля. Специалисты ИФП СО РАН занимаются разработкой лазера на квантовых точках на диапазон излучения 1,55 микрон. На этой длине волны наименьшие потери сигнала в оптоволокну.

Чтобы реализовать все преимущества волоконно-оптических линий связи, нужно обладать специализированной компонентной базой. Отечественной компонентной базы в настоящий момент практически нет, и ее разработкой занимаются в лаборатории молекулярно-лучевой эпитаксии соединений АЗВ5 ИФП СО РАН.

Основные элементы — лазер (источник излучения), модулятор, кодирующий информацию, и фотоприёмник (фотодиод), который переводит информацию из световой волны в электронный сигнал. К сегодняшнему дню мы уже разработали СВЧ-фотодиод на 40 гигагерц, продолжается разработка электрооптического модулятора и буквально два месяца назад проект по созданию лазера на квантовых точках получил поддержку РНФ и Правительства Новосибирской области.

В промышленности во всем мире такие лазеры разрабатываются на основе квантовых ям. Однако сейчас все возможности улучшения характеристик лазеров на квантовых ямах исчерпаны. Поэтому единственный путь совершенствования — использовать в качестве активной среды квантовые точки. Упрощенно говоря, квантовые ямы — это искусственные кристаллы, квантовые точки — искусственные

атомы, из которых мы конструируем кристаллы с нужными нам свойствами.

Активная среда на квантовых точках может дать улучшение таких характеристик лазера, как пороговый ток, коэффициент усиления, температурная стабильность, токи насыщения.

«Решение этой проблемы — непростая задача: требуется вырастить бездефектный кристалл с массивом квантовых точек, заданного размера и свойств», — рассказал старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-лучевой эпитаксии соединений АЗВ5 ИФП СО РАН кандидат физико-математических наук *Дмитрий Владимирович Гуляев*.

На первом этапе проекта ученые рассчитывают создать полупроводниковый материал (массив квантовых точек на основе соединений индий-галлий-алюминий-мышьяк на подложке из фосфида индия), на втором — провести исследование его характеристик, тестирование лазера.

Для трансляции информации по волоконно-оптическим линиям связи нужен не только лазер (передающее устройство), но и электрооптический модулятор и СВЧ-фотодиод (принимающее устройство). Специалисты лаборатории молекулярно-лучевой эпитаксии соединений АЗВ5 ранее разработали СВЧ-фотодиоды и ведут разработку электрооптических модуляторов.

Эти три важнейших компонента для работы систем связи создаются одной научной группой (в ИФП СО РАН), что позволяет повысить степень совместимости устройств и гибко варьировать их параметры при необходимости.

<https://scientificrussia.ru/articles/kommunikacii-so-skorostu-sveta-novosibirskie-ucenye-razrabatyvaut-lazer-na-kvantovyh-tockah-dla-sistem-svazi>

* * *

Лазерную систему обнаружения теплового потока представили инженеры ГУАП

Инженеры Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП) создали технологичный оптический датчик для выявления возгораний, который опережает конкурентов по быстродействию и чувствительности.

Обычная противопожарная система подает сигнал тревоги в среднем через 40 секунд после возгорания. Новая разработка делает это на 10 секунд быстрее. Такой выигрыш во времени может показаться незначительным непрофессионалам, однако, по словам специалистов, этих мгновений может хватить, чтобы избежать формирования крупного очага пожара или быстрее начать эвакуацию. Датчик срабатывает, когда температура превышает 44 °С, аналоги дают сигнал тревоги только при 54 °С.

«Лазерную систему обнаружения теплового потока, которую мы разработали, можно использовать на взрывоопасных производствах. Кроме того, наш пожарный датчик является линейным и рассчитан на большие дальности — порядка 100 м — для контроля протяженных помещений», — рассказала разработчик прибора, студентка ГУАП Яна Рывкина.

Работа устройства основана на оптических принципах. От источника лазера направляется луч, кото-

рый фиксирует степень преломления воздуха. Этот показатель меняется при повышении температуры и задымлении, что и позволяет изобретению выявлять пожары. При этом датчику для работы нужно не больше электричества, чем простой лазерной указке. При необходимости можно регулировать протяженность луча, поэтому разработку можно адаптировать под любое помещение. Стоимость устройства

несколько выше, чем того оборудования, которое сейчас используют в противопожарных системах. Однако за счет более высокой чувствительности таких датчиков требуется меньше, поэтому затраты не возрастают. Да, горит оно огнем: инновационный лазерный датчик мгновенно выявит пожар

<https://iz.ru/1515112/2023-05-19/v-rossii-sozdali-innovatsionnyi-lazernyi-pozharnyi-datchik>

★ ★ ★

В России создан самый большой лазерный 3D-принтер для печати 8-тонных изделий

Специалисты Росатома и Санкт-Петербургского морского технического университета создали самый большой лазерный 3D-принтер, оснащенный двумя промышленными шестиосевыми роботами. Размеры напечатанной детали могут достигать 2,2×1 м, а вес — 8 тонн. Применение 3D-принтера в производстве снижает себестоимость крупногабаритных изделий и сокращает срок их изготовления.

С помощью этого оборудования можно создавать большие предметы с заданными прочностными характеристиками очень быстро — до 2,4 кг материала в час из порошков никелевых сплавов, нержавеющей и жаростойких сталей. Поэтому на печать изделия весом 8 тонн уйдет 4,5 месяца работы. Ещё одно преимущество — возможность создавать биметаллические и композитные предметы из разных металлических порошков с разными свойствами.

На этом оборудовании уже изготовили фрагмент втулки внутрикорпусного устройства энергетического ядерного реактора оптимизированной конструкции высотой 1 м с применением двух непрерывно работающих технологических инструментов установки ПЛВ. Принтер использует две роботизиро-

ванные головки для печати, которые установлены так, чтобы не мешать друг другу.

По словам разработчиков, это первая установка, где могут одновременно работать несколько инструментов по выращиванию, не мешая друг другу своими температурными полями.

Инновационный 3D-принтер может использоваться в ключевых высокотехнологичных отраслях промышленности — атомной, авиационной, судостроительной, космической. Применение установки ПЛВ на металлообрабатывающих производствах в атомной отрасли снизит себестоимость крупногабаритных изделий и уменьшит срок их изготовления.

<https://www.nanonewsnet.ru/news/2023/v-rossii-sozdan-samyi-bolshoi-lazernyi-3d-printer-dlya-pechati-8-tonnykh-izdelii>

★ ★ ★

Белоруссия показала лазерный модуль для уничтожения дронов

Разработка способна сопровождать цели и уничтожать, удерживая на них луч вне зависимости от скорости их движения

Белорусская компания «Научно-технический Центр «Лэнт» впервые представила на выставке вооружений MILEX-2023 прототип модуля для уничтожения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с помощью лазерного луча на расстоянии до 1,5 км.

«Это прототип, возникший вследствие проекта, который мы делали для одного из ближневосточных заказчиков. <...> Это лазер для борьбы с беспилотниками. В зависимости от технических параметров на определенных расстояниях он поражает беспилотники. Вот эта конкретная система - ближнего боя, она действует на дальности до 1,5 км. Есть система раннего обнаружения радиолокационного беспилотников, затем происходит идентификация за счет оптических каналов и распознавание типа беспилотника: боевой, камикадзе, разведывательный», — рассказал представитель компании.

По его словам, модуль имеет мощность в 30 кВт. Разработка способна сама сопровождать цели и уничтожать, удерживая на них луч вне зависимости от скорости их движения. Она может устанавливаться на машины, а также транспорти-



роваться в контейнере. «Первый образец отправлен заказчику на Ближний Восток. Он показал себя хорошо, но есть еще некоторые проблемы, мы их решаем. В этом году делаем образец для белорусской армии», — добавил собеседник.

Международная выставка вооружения и военной техники MILEX-2023 проходила в Минске 17-20 мая. Всего в единой российской экспозиции, организованной «Рособоронэкспортом», было представлено более 150 образцов вооружения и техники.

<https://tass.ru/armiya-i-opk/17792001>



7-я международная школа молодых учёных «Нелинейная фотоника»

21-25 августа 2023г., Новосибирский академгородок

Основной целью школы является повышение профессионального уровня и привлечение к решению актуальных задач в области нелинейной фотоники начинающих научных сотрудников, аспирантов и студентов старших курсов.

В 2023 году школа будет проведена в очном режиме, в качестве лекторов выступят ведущие российские эксперты. Для слушателей участие в школе бесплатное.

Регистрация обязательна, количество мест ограничено.

Программа школы, охватывающая широкий спектр проблем в различных областях фотоники, начиная с фундаментальной науки и заканчивая практическими применениями фотоники, включает подробные обзорные выступления ведущих учёных с комбинацией теоретических и экспериментальных докладов и обсуждением технологий и практических приложений.

Запланировано также проведение постерной сессии, на которой молодые учёные смогут представить результаты своих исследований в формате стендового доклада. Аудиторией данных сессий выступают все лектора и слушатели школы. Тезисы для участия в постерной сессии принимаются до 7 июля и подлежат рецензированию. Принятые тезисы будут опубликованы в сборнике трудов школы, который будет размещён на портале e-library и проиндексирован РИНЦ. Каждой статье будет присвоен номер DOI. Образец оформления тезисов находится в приложении.

Приём заявок на участие завершается **21 июня 2023 г.**

С подробной информацией о школе можно ознакомиться на сайте
https://education.nsu.ru/nonlinear_photonics/2023/

Все вопросы и подготовленные тезисы можно направлять на photonics@nsu.ru.



ПНПК



ЦЕНТР ФТОНИКА



Программный комитет IX Всероссийской Диановской конференции по волоконной оптике (ВКВО-2023) (объявление о ней было опубликовано в «Л-И», №4 (739), 2023)

сообщает об изменении сроков её проведения.

Вместо 10-13 октября 2023г. мероприятие будет проходить **3-6 октября 2023г.**

Просьба по возможности проинформировать коллег об изменении сроков ВКВО-2023.

«Лазер-Информ»

Издание зарегистрировано в межведомственной комиссии МГСНД 26.12.91. Рег. № 281
© Лазерная ассоциация.
Перепечатка материалов и их использование в любой форме возможны только с разрешения редакции.

Отпечатано в НТИУЦ ЛАС
Тираж 500 экз.

Главный редактор
И.Б.Ковш
Редактор Т.А.Микаэлян
Ред.-издательская группа:
Т.Н.Васильева
Е.Н.Макеева

Наш адрес:
117342, Москва, ул. Введенского, д.3, ЛАС
Тел: (495)333-0022 Факс: (495)334-4780
E-mail: info@cislaser.com
http://www.cislaser.com
Банковские реквизиты ЛАС:
р/с 40703810538000006886
В ПАО «Сбербанк» г.Москва
к/с 3010181040000000225
БИК 044525225