



Юбилейный номер «Лазер-Информа»

Уважаемый читатель, перед тобой

750-й номер информационного бюллетеня Лазерной ассоциации.

«Лазер-Информ» появился в 1991 году как средство информирования членов ЛАС о деятельности Ассоциации, но уже через несколько лет превратился в отраслевую газету, освещающую и обсуждающую жизнь отечественного лазерно-оптического сообщества, его проблемы, задачи и достижения. Продолжая рассказывать о деятельности ЛАС (а с 2011 года – ещё и технологической платформы «Фотоника», которую организовала наша Ассоциация) – о её ежегодных выставках, конгрессах, международном сотрудничестве, взаимодействии с властями и госкорпорациями, решениях, принимаемых на съездах Лазерной ассоциации, и мероприятиях республиканских и региональных центров ЛАС, о формировании новых составов Коллегии национальных экспертов стран СНГ по лазерам и лазерным технологиям и т.д., и т.п., «Лазер-Информ» регулярно сообщает также о состоянии дел в отечественной лазерно-оптической отрасли и динамике мирового рынка фотоники, о разнообразных лазерных, оптических и оптоэлектронных технологиях и опыте их практического использования, анализирует меры государственной поддержки нашей отрасли, её кадровое и нормативное обеспечение.

В «Л-И» публикуются статьи и интервью ведущих специалистов отрасли, а также организаций, с которыми сотрудничают ЛАС и отраслевая техплатформа; здесь размещают-

ся объявления о всех сколько-нибудь заметных профильных конференциях и выставках (и хроники многих таких мероприятий), а статьи из рубрики «Письма коллегам» в «Л-И» вполне соответствуют уровню научно-технических журналов. Появившись в то время, когда естественным форматом информационного бюллетеня было печатное издание, «Лазер-Информ» давно освоил и электронный формат, но сохраняет уважение к нормам русского языка и обеспечивает высокое литера-

750

турное качество публикуемых оригинальных текстов – мы уверены, что читатели ценят это. Невзирая ни на какие сложные ситуации, проблемы, эпидемии, задержки взносов и проч. два номера «Лазер-Информа» ежемесячно поступают к своим читателям вот уже более 30 лет, и редакция бюллетеня имеет полное право гордиться стабильностью своей работы. Отметим при этом, что при анкетировании членов ЛАС на вопрос о том, какое издание они считают наиболее полезным для формирования своего мнения о состоянии отечественной лазерно-оптической отрасли, абсолютное большинство отвечает – «Лазер-Информ». В век интернета такое признание дорогого стоит.

Поздравляем редакционный коллектив бюллетеня с юбилеем и желаем «Лазер-Информу» ещё долгие годы оставаться нужным и интересным!

Совет Лазерной ассоциации

Российская фотоника – как и многие другие отрасли индустрии – испытывает сегодня явную нехватку квалифицированных кадров – инженеров и техников. Эта проблема активно обсуждается в нашем сообществе, ей был посвящён целый ряд совещаний (о некоторых мы рассказывали в «Л-И»), просьбу к Лазерной ассоциации о помощи в организации кадрового обеспечения лазерно-оптической отрасли России сформулировал заместитель Министра промышленности и торговли В.В. Шпак в своём выступлении на совместном заседании Совета главных технологов, Совета ЛАС и Секретариата ТП «Фотоника» 28 марта с.г. Предложения ЛАС по соответствующей дорожной карте ему давно отослали, но никаких решений пока не последовало и дискуссии продолжаются. Проблема, конечно, тяжёлая и «многопричинная» – от школьного образования до куцых учебных программ и зарплат молодых специалистов.

Как выяснялось, эта же проблема стоит сейчас и перед западными компаниями, работающими в области фотоники. Мы приводим ниже краткое изложение редакционной статьи в одном из ведущих американских отраслевых журналов. Их система образования также оказывается недостаточно эффективной, и они видят выход в получении целевой господдержки на её переустройство. Их прогнозы, опыт и аргументация представляются весьма поучительными (тем более, что наша система образования переключена по их образцу и нам ещё предстоит выкарабкаться...)

Фотоника не будет работать без рабочей силы¹

Д.К.Маккарти, гл. редактор журнала «Photonics Spectra»



Фотоника как отрасль индустрии в последние три года переживает одну бурю за другой – глобальная пандемия, сбои в цепочках поставок, нехватка микроэлектроники, военный конфликт и всё более жёсткие таможенные ограничения следуют друг за другом. И хотя по сравнению с другими секторами промышленности фотоника демонстрирует гораздо большую устойчивость и гораздо быстрее восстанавливается после очередного удара, есть одна очень важная и на сегодняшний день нерешённая проблема, преследующая всех наших работодателей – большая трудность получения необходимых для отрасли кадров и поддержания их квалификации на нужном уровне.

Изучение рынка труда в 2021 г. привело экспертов «AIM Photonics» к выводу, что до конца этого десятилетия фотонике в США потребуется около 42 тыс. новых технических специалистов. Ту же проблему остро ощущают компании европейской фотоники. В своём докладе на конгрессе «LASER. World of Photonics» в июне этого года Йорг Майер, руководитель немецкой промышленной ассоциации SPECTARIS, сообщил, что этой отрасли в Германии требуется до 2027 г. привлечь не менее 60 тыс. новых работников, чтобы сохранить сегодняшние темпы её развития.

Если бы дело заключалось только в том, что нужно разместить больше объявлений о вакансиях, задача была бы решена давным-давно, но проблема лежит гораздо глубже и обусловлена тем фактом, что приток в отрасль молодых инженеров и техников весьма невелик – как вследствие малого интереса у молодёжи к STEM –

специальностям (STEM – Science, Technology, Engineering, Mathematics), так и в результате отсутствия программ сертификации специалистов по фотонике и специализированных высших и средних учебных заведений.

Опыт ряда успешных отраслевых компаний в США свидетельствует, что трудности легче преодолеть при условии тесного сотрудничества промышленности с научными кругами и университетами, но жизненно важным фактором во всех случаях является поддержка государства. Недавно в нашем журнале подробно обсуждалась важность государственного финансирования для научных исследований – оно многократно окупается созданием новых технологий и их коммерческим использованием. Но как показывает опыт, такое финансирование необходимо – и даёт эффект ещё более быстро и непосредственно – и для организации кадрового обеспечения высокотехнологичных отраслей, в

В номере:

- **Фотоника не будет работать без рабочей силы** (перевод)
- **Представляем победителей Конкурса ЛАС-2023**
 - ▶ «Одномодовый узкополосный волоконный усилитель мощностью 1 кВт»
 - ▶ «Прибор измерения высоты облачности SKYDEX-15»
- **Новая электроника: все только начинают бежать**
- **ХРОНИКА.** Заседание НТС ЛАС по биомедицинской фотонике
- **ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ**

¹ Сокращённый перевод редакционной статьи в августовском выпуске «Spectra Physics» за 2023г.

т.ч. фотоники, от которой существенно зависит конкурентоспособность всей национальной промышленности.

Правительства США и Европейского Союза, судя по всему, всё более ясно осознают, что промышленная политика их стран (т.е. стратегия распределения финансовой поддержки) должна предусматривать специальные меры для подготовки квалифицированной инженерно-технической рабочей силы, если они хотят развития своей промышленности и увеличения её конкурентоспособности. Правительство США направляет сейчас 52,7 млрд долл. на восстановление инфраструктуры национальной полупроводниковой промышленности, 13,2 млрд из них предназначены на организацию кадрового обеспечения этой промышленности, подготовку профильных кадров. Проект аналогичного постановления, подготовленный Европейской Комиссией,

предполагает выделение дополнительных 15 млрд Евро к уже предоставленным 30 млрд на создание STEM – ориентированных учебных программ, привлечение в Европу новых талантов, построение необходимой для такой деятельности инфраструктуры.

Так же, как государственное финансирование науки, заблаговременное инвестирование в отбор и подготовку кадров может дать невероятную отдачу для экономики – и на локальном, и на национальном уровне. Опыт нескольких технологических (как полупроводниковая промышленность) и региональных кластеров, уже получивших такую поддержку, это однозначно подтверждает. Индустрия фотоники активно развивается – как в уже сложившихся своих секторах, так и в постоянно появляющихся новых – и обеспечение этой индустрии квалифицированными кадрами жизненно необходимо и в настоящее время, и для будущего роста.

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

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

Диплом III степени

Одномодовый узкополосный волоконный усилитель мощностью 1 кВт

*Авторский коллектив: А.А.Колегов, А.А.Абакишин, Д.А.Фролов, И.Р.Арсланов,
В.А.Баталин, ООО «Нордлэйз», Санкт-Петербург*



За последнее время оптоволоконные лазеры стали востребованы во многих областях – таких как обработка материалов, медицина, научные исследования и др. Благодаря своей компактности и высокой выходной мощности в сочетании с высокой эффективностью они стали заменять в целом ряде применений твердотельные и CO₂-лазеры.

Развитие полупроводниковых лазерных технологий и оптоволоконных компонентов, которые выдерживают высокую мощность лазерного излучения (активное волокно, брэгговские решетки (зеркала резонатора), волоконные объединители накачки), позволило резко под-

нять выходную мощность оптоволоконных лазеров. В настоящее время в одномодовом режиме получено 100 кВт [Andreas Siewert. High Power Industrial Grade Fiber Lasers / AIME on High Energy Lasers, DESY, Hamburg, 12-13 November 2014], а в одномодовом – 10 кВт [IPG Photonics Corporation, «IPG Photonics successfully tests world's first 10 kilowatt single-mode production laser» <http://www.ipgphotonics.com/news-product.htm> (June 15, 2009)].

Мультикиловаттные волоконные лазеры в основном используются в научных исследованиях и для обработки различного рода материалов. В свою очередь толщина обрабатываемого материала зависит от мощности излучения, а качество обработки – от качества излучения,

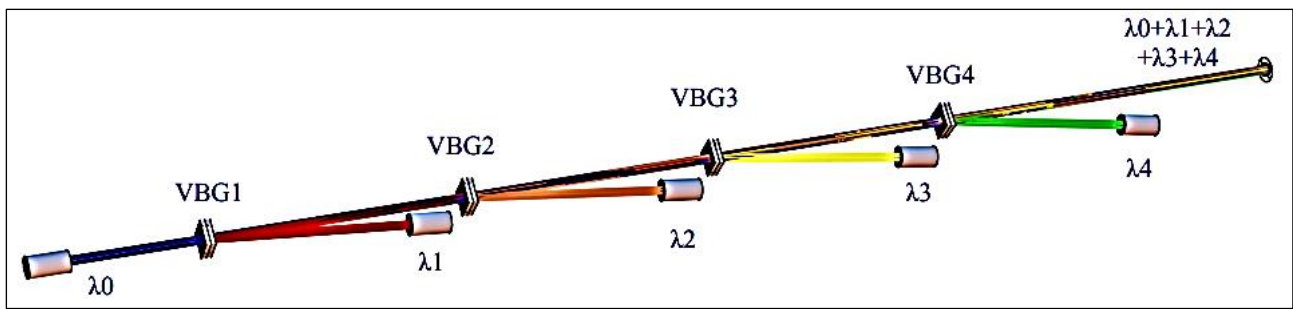


Рис.1 Пример схемы спектрального сложения
 VBG – голографические решетки; λ – лазеры с разными длинами волн

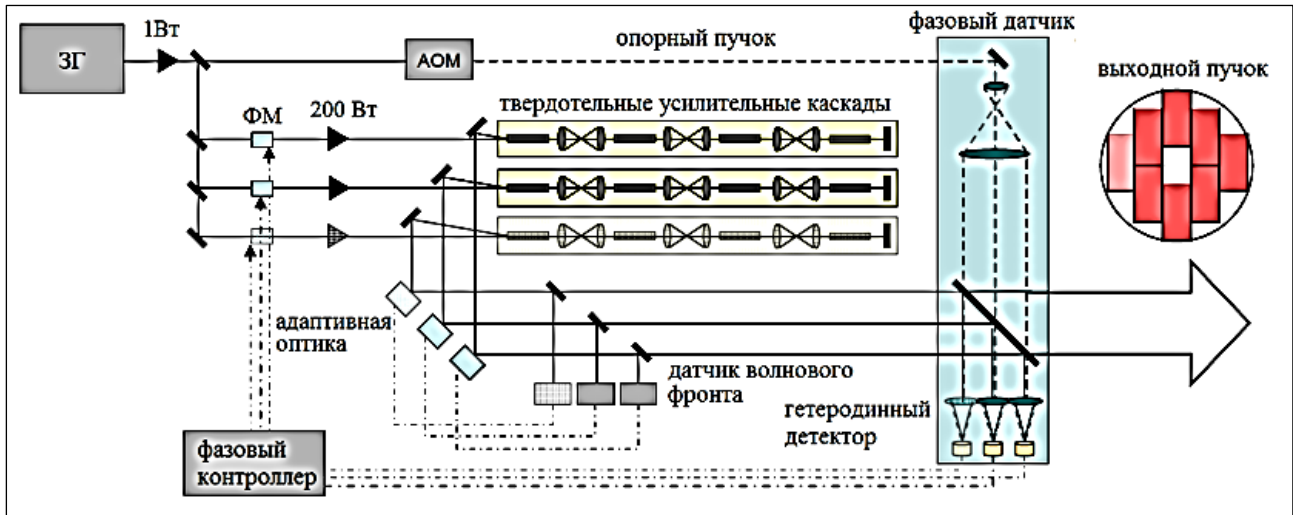


Рис.2 Схема системы когерентного сложения
 ЗГ – задающий генератор; АОМ – акустооптический модулятор; ФМ – фазовый модулятор

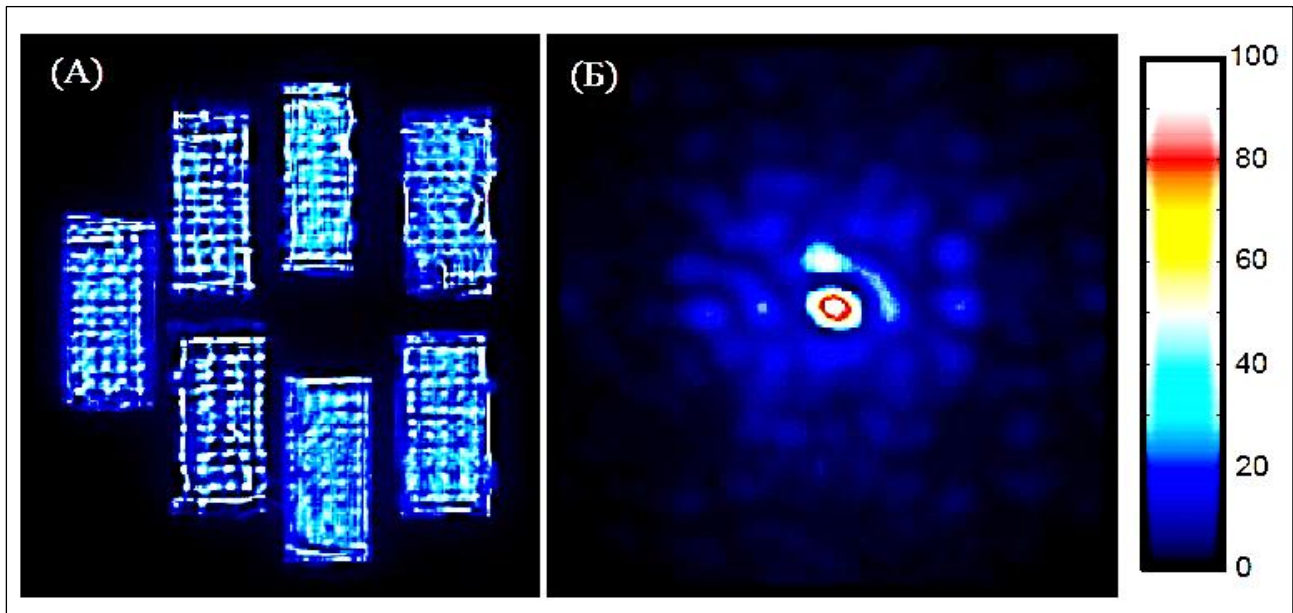


Рис.3 Распределение интенсивности в ближней (А) и дальней зонах (Б).

определяемого параметром M^2 и влияющего на минимальный диаметр фокусировки лазерного пучка. Так, многомодовое излучение обычно удается сфокусировать в пятно диаметром несколько сотен микрон, а одномодовое – от единиц до десятков микрон.

К сожалению, увеличение мощности одно-

модовых оптоволоконных лазеров ограничено рядом физических факторов. Наиболее значимые из них – это нелинейные эффекты (вынужденное рассеяние Рамана и Брюллюэна) и оптическое разрушение волокна. Пороги возникновения нелинейных эффектов можно поднимать некоторыми способами, например, с помощью

создания градиента температуры в волокне, а порог оптического разрушения можно поднять только с увеличением диаметра сердцевины, что влечет за собой ухудшение качества пучка. Одним из способов наращивания мощности излучения с сохранением качества пучка является создание многоканальной системы со сложением лазерного излучения. Среди таких систем можно отметить когерентное сложение [1-3] и спектральное сложение излучения [4-7]. Каждый из способов имеет свои плюсы и минусы. Спектральное сложение не требует фазовой подстройки каждого из складываемых каналов, но имеет некоторые ограничения вследствие лучевой прочности существующих спектральных объединителей (обычно дифракционные или голографические решетки). Пример схемы спектрального сложения с использованием голографических решеток представлена на **рис.1**.

Системы когерентного сложения более сложные и обычно состоят из одного лазера с линейной поляризацией, излучение которого делится на несколько каналов, затем усиливается и

складывается в один пучок, причем фазы складываемых необходимо контролировать и подстраивать. Следует отметить, что было продемонстрировано когерентное сложение излучения с результирующей мощностью 100 кВт [8]. Пример схемы когерентного сложения и результаты сложения представлены на **рис.2** и **3**.

Значительных успехов в создании мульткиловаттных систем когерентного сложения для обработки материалов достигла компания Civan Lasers (Израиль). Специалисты компании, управляя фазами складываемых каналов, научились задавать различные формы пучков, что открывает новые перспективы в обработке материалов. Пример профилей пучков приведены на **рис.4**.

Таким образом, задача наращивания мощности одномодового излучения является актуальной, и ключевую роль в этом играют источник и усилитель узкополосного излучения. Ширина спектра излучения для систем спектрального сложения не должна превышать 0.5 нм, а для когерентного – 0.1 нм, что не является тривиальной задачей ввиду развития нелинейных

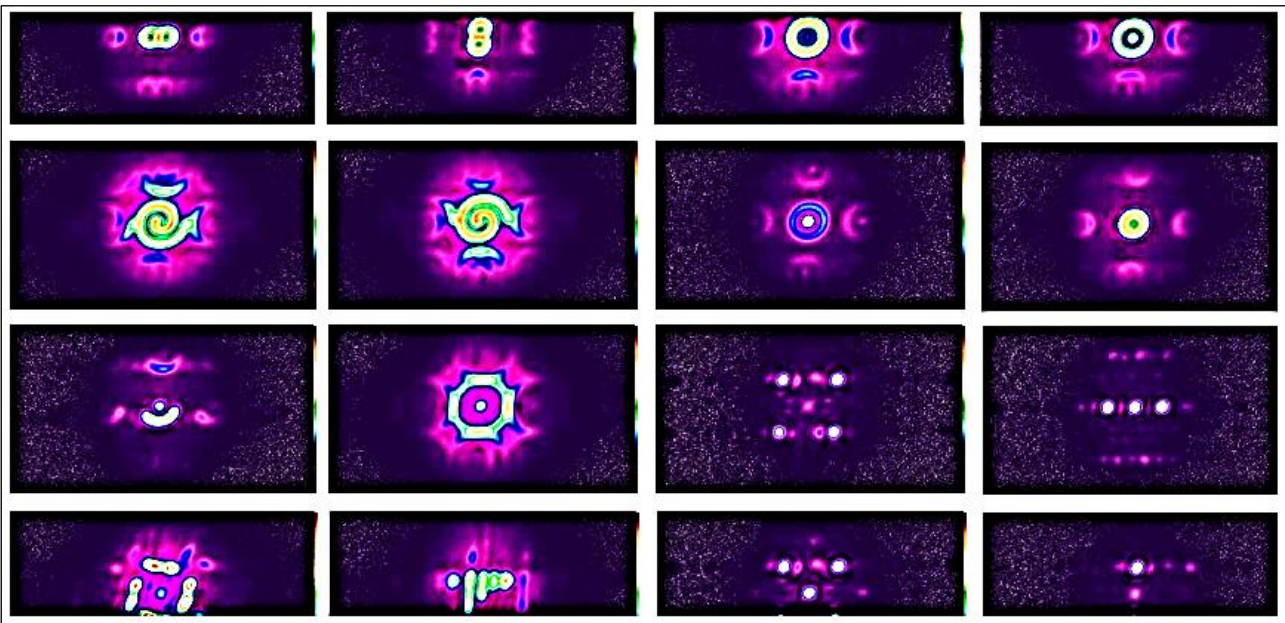


Рис.4 Примеры профилей пучков при когерентном сложении.

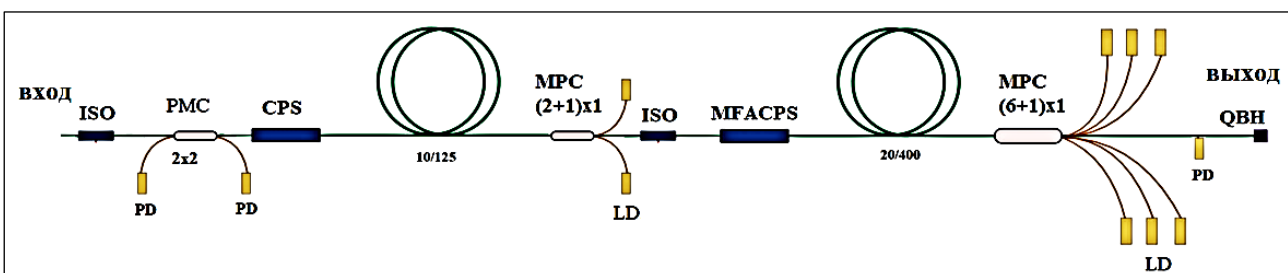


Рис.5 Схема волоконного узкополосного усилителя.

ISO – изолятор; *MFACPS* – адаптер поля моды, фильтр мод оболочки волокна;
MPC – волоконный объединитель накачки; *QBH* – кабель с оптическим коннектором типа *QBH*;
LD – лазерные диоды накачки; *PD* – контрольные фотодиоды.

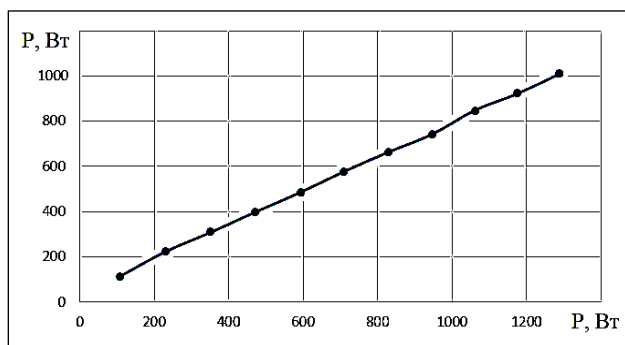


Рис.6 Зависимость выходной мощности излучения от мощности излучения накачки.

эффектов. К тому же для промышленного применения узкополосные источники должны обладать низкой стоимостью.

Значительных успехов в наращивании мощности одномодовых узкополосных волоконных лазеров достигли азиатские группы ученых, среди которых можно отметить работы [9] 6 кВт и 0,86 нм, [10] 5 кВт и 0,59 нм, [11] 4 кВт и 0,62 нм, [12] 5 кВт и 0,37 нм, [13] 3 кВт и 0,2 нм, [14] 2,4 кВт и 0,24 нм, [15] 3,5 кВт и 0,175 нм, [16] 2 кВт и 0,29 нм, [17] 2,43 кВт и 0,25 нм. Поддержка состояния поляризации осуществлена в работах [11,13,17], а наилучшее качество пучка продемонстрировано в работе [17].

В настоящей работе представлены результаты разработки и изготовления волоконного усилителя мощностью 1 кВт с перспективой увеличения до 2 кВт и шириной спектра усиливаемого излучения 0.1 нм.

Поскольку в усилитель входит излучение с достаточно узкой шириной спектра, то в первую очередь будет развиваться нелинейный эффект вынужденного рассеяния Манделштама-Бриллюэна (ВРМБ). Оценка пороговой мощности возникновения ВРМБ показала, что при ширине спектра входного излучения 0.04 нм длина оптического тракта не должна превышать 45 м, что позволяет использовать накачку активного волокна с длиной волны 915 нм и существенно снизить стоимость усилителя по сравнению с накачкой на длине волны 976 нм.

Схема усилителя представлена на рис.5.

Как видно, усилитель имеет два каскада усиления. Первый каскад выполнен на волокне с диаметром сердцевины 10 мкм, второй – с диаметром сердцевины 20 мкм. Длина активного волокна второго каскада составила 35 м, а накачка осуществляется лазерными модулями с длиной волны 915 нм. Развязка каскадов осуществляется волоконным изолятором, согласование волокон с разным диаметром – с помощью адаптера поля моды. На вход усилителя должно поступать излучение с мощностью не менее 2 Вт.

Особую роль необходимо уделять теплоотводу. Основные источники тепла в усилителе –

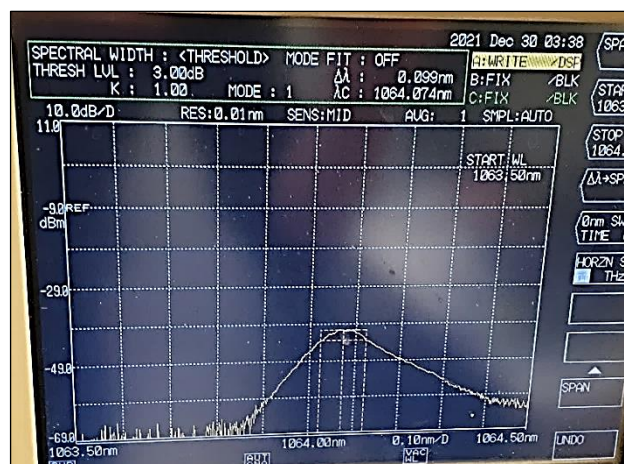


Рис.7 Исходный спектр излучения полупроводникового лазера.

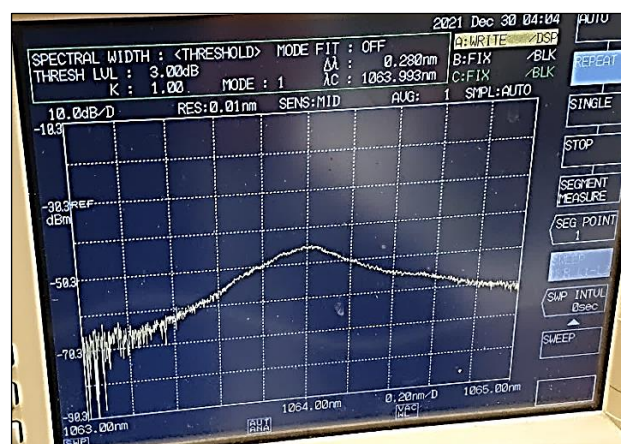


Рис.8 Выходной спектр излучения полупроводникового лазера.

активное волокно и лазерные модули накачки, которые в сумме дают тепловыделение около 1.6 кВт, поэтому усилитель имеет водяное охлаждение, а активное волокно расположено в специальной канавке с термоинтерфейсом. Если не уделять должного внимания охлаждению активного волокна, то оно будет перегреваться, что приведет к возникновению модовой нестабильности и в конечном итоге к выходу из строя усилителя.

В результате сборки усилителя получена зависимость выходной мощности излучения от мощности излучения накачки, которая представлена на рис.6. Как видно, эффективность преобразования составила 75%, что является хорошим результатом.

Ключевую роль в результирующей ширине спектра излучения играет длина оптического тракта и количество продольных мод задающего генератора, т.к. эти оба фактора пропорционально влияют на уширение спектра. Так, например, при использовании в качестве задающего генератора полупроводникового лазера с шириной спектра примерно 0.1 нм выходная ширина спектра составила почти 0.3 нм, что видно на рис.7 и 8.

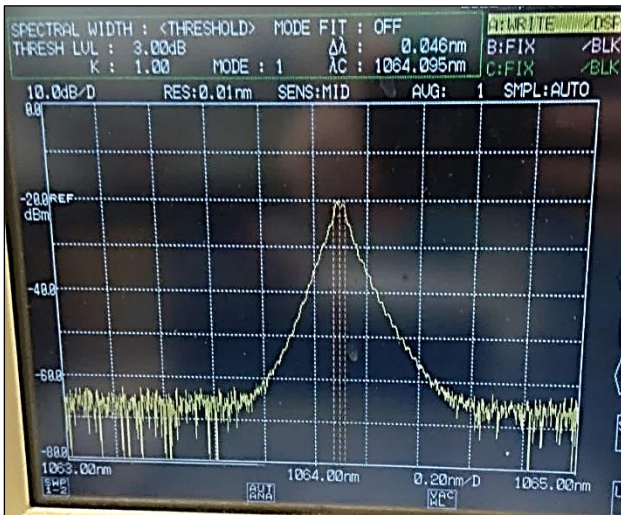


Рис.9 Исходный спектр излучения волоконного лазера.

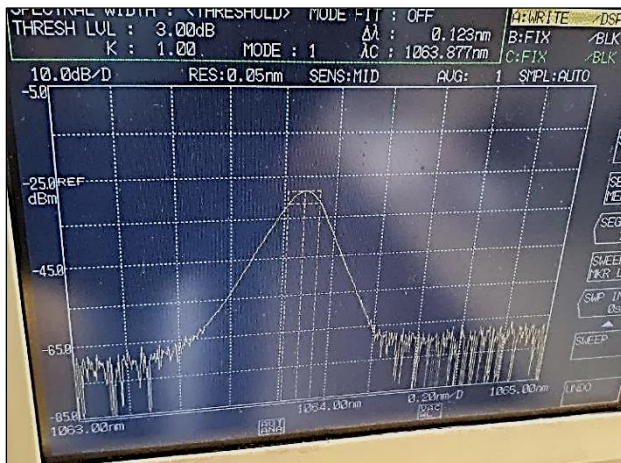


Рис.10 Выходной спектр излучения волоконного лазера.

Уширение спектра оказалось меньше при использовании волоконного задающего генератора с малым числом продольных мод. При этом ширина входного спектра составила примерно 0.05 нм, а выходного – примерно 0.12 нм, что видно на рис.9 и 10.

Минимальное уширение спектра наблюдается при усилении излучения одночастотного (одна продольная мода) лазера. Такой лазер обладает очень узким спектром, который без применения специальных мер нельзя усилить в волоконном усилителе киловаттного уровня мощности, т.к. уже на первых метрах волоконно-оптического тракта будет сильно развиваться эффект ВРМБ. Для возможности усиления излучения одночастотного лазера необходимо уширить спектр с помощью волоконных фазовых модуляторов до приемлемого уровня, причем на фазовый модулятор должен поступать сигнал белого шума. Схема такого источника представлена на рис.11.

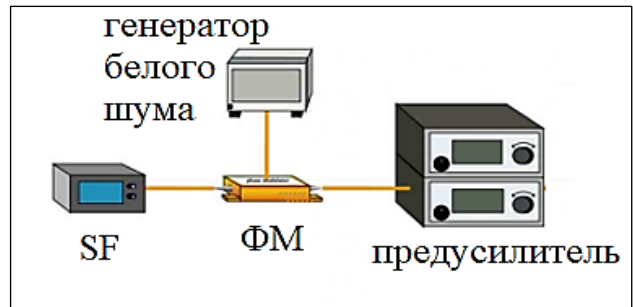


Рис.11 Схема одночастотного источника излучения с уширением спектра.
SF – одночастотный лазер; ФМ – фазовый модулятор



Рис.12 Внешний вид узкополосного усилителя.

Так, при использовании одночастотного лазера с уширенным до 0.1 нм спектром получена выходная мощность излучения 1 кВт без уширения, т.е. с шириной выходного спектра 0.1 нм. Все измерения ширины спектра проводились на полувысоте, т.е. на уровне 3 дБ. Внешний вид усилителя представлен на рис.12.

В настоящее время на рынке есть официальная информация только об одном аналоге – это усилитель IPG Photonics. Сравнение основных характеристики приведено в табл.1.

Поставки усилителя IPG Photonics ограничены санкциями, поэтому для российского рынка усилитель Нордлэйз является единственным.

Уже сейчас проводится модернизация разработанного усилителя для увеличения мощности излучения до 2 кВт и улучшения качества излучения M² до 1.2. Это достигается переходом на лазерные модули накачки с длиной волны 976 нм (стоимость таких модулей выше, по сравне-

Табл.1 Сравнение основных характеристик усилителей

	IPG Photonics	Нордлэйз
Выходная мощность, Вт	1500	1000
Длина волны, нм	1064	1064
Ширина спектра, GHz	25	25.6
Регулировка мощности (%)	1-100%	1-100%
Качество пучка (M2)	1.1	1.3
Поляризационная экстинкция (dB)	>17	>20

нию с 915 нм, но это единственный вариант увеличить выходную мощность излучения до 2 кВт), уменьшением длины активного волокна до 15 м и обеспечением вывода мод высшего порядка из сердцевины путем укладки волокна с малыми радиусами изгиба.

Таким образом, выполнена разработка и постановка на производство волоконного усилителя узкополосного сигнала с минимальной входной шириной спектра излучения 40 пм и входной мощностью не менее 2 Вт для систем когерентного, спектрального сложения и других применений. Разработанный усилитель имеет эффективность «свет в свет» 75%, входное волокно с диаметром сердцевины 10 мкм и числовой апертурой 0.08. Повышение порогов ВРМБ и модовой нестабильности обеспечено путем организации обратной накачки, при этом максимальная мощность излучения достигается в конце каскада усиления. Паразитная генерация минимизирована путем организации косых склонов на свободных торцах волокон. Ведется работа по увеличению выходной мощности и улучшению качества пучка.

Литература

[1]. Yu C. X., et al. // Opt. Lett. 36, 2686–2688 (2011)

[2]. McNaught S.J. et al. // IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 20, 174–181 (2014)

[3]. Flores A. et al. // Opt. Eng. 55, 096101 (2016)

[4]. Zhang Fan et al. // Opt. Express 24, 12063–12071 (2016)

[5]. Ma Y. et al. // Chinese J. Lasers 43, 0901009 (2016)

[6]. Chen F. et al. // Opt. Express 25, 32783–32791 (2017)

[7]. Qi Gao et al. // Optical Fiber Technology 78, 103311 (2023)

[8]. Stuart J., McNaught et al. / OSA /FiO/ LS/AO/AIOM/COSI/LM/SRS FThD2 (2009)

[9]. Wang G. et al. // High Power Laser Science and Engineering 10, e22 (2022)

[10]. Ma P. et al. // High Power Laser Science and Engineering 9, e47 (2021)

[11]. Wang G. et al. // IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS 33, 1181- 1184 (2022)

[12]. Ren S. et al. // Nanomaterials 12, 2541 (2022)

[13]. Wang Y. et al. // Laser Phys. Lett. 17, 075101 (2020)

[14]. Wang Y. et al. // Laser Phys. Lett. 17, 015102 (2020)

[15]. Li T. et al. // Laser Phys. 28, 105101 (2018)

[16]. Zhang L. et al. // Proc. of SPIE 11717, 117173H-1 (2020)

[17]. Su R. et al. // Laser Phys. Lett. 14, 085102 (2017)

★ ★ ★

Номинация «Информационно-управленческие технологии и системы фотоники»

Диплом III степени

Прибор измерения высоты облачности «SKYDEX-15»

Авторский коллектив: А.Н.Ермолин, А.В.Никонова, А.Н.Кацубо, В.И.Комбаров, Т.М.Сухов, В.В.Красных, И.С.Баханов, А.О.Трухин, Л.Ю.Маслов, АО «Лазерные системы», С.Петербург



Быстрорастущий и развивающийся рынок технологий предлагает множество приборов с различным набором функций для обеспечения безопасности полетов в аэропортах любого масштаба. Осадки, туман и ухудшенная видимость – следствие низкой облачности, которая оказывает большое влияние на безопасность и регулярность полетов воздушных судов. От оперативного и надежного прогноза зависит взлет и посадка любого воздушного судна. Поэтому измерение высоты нижней границы облачности является одной из важнейших задач при прогнозировании опасных метеоявлений.

Существует несколько методов дистанционного анализа воздушных потоков, каждый из которых может быть применен в различной сфере. Эти методы и, соответственно, реализуемые на их основе аппараты можно разделить

по физической сущности разных когерентных источников, используемых для зондирования. Это содары, которые работают на акустических волнах, радары, излучающие и принимающие радиоволны, радиоакустические системы, которые комбинируют акустическое и электромагнитное излучение и лидары, использующие оптическое излучение. На сегодняшний день одним из самых распространенных приборов измерения высоты облачности является лазерный облакомер.

Отечественной разработкой в этом классе аппаратов является прибор измерения высоты облачности «Skydex-15» производства АО «Лазерные системы». «Skydex-15» представляет собой лазерный дальномер на основе безопасного для глаз импульсного лазера. Он способен одновременно определять расстояние до трех слоев облачности на дальностях от 10 до 8000 метров с абсолютной погрешностью ± 5 метров в диапазоне высот от 10 до 100 м включитель-

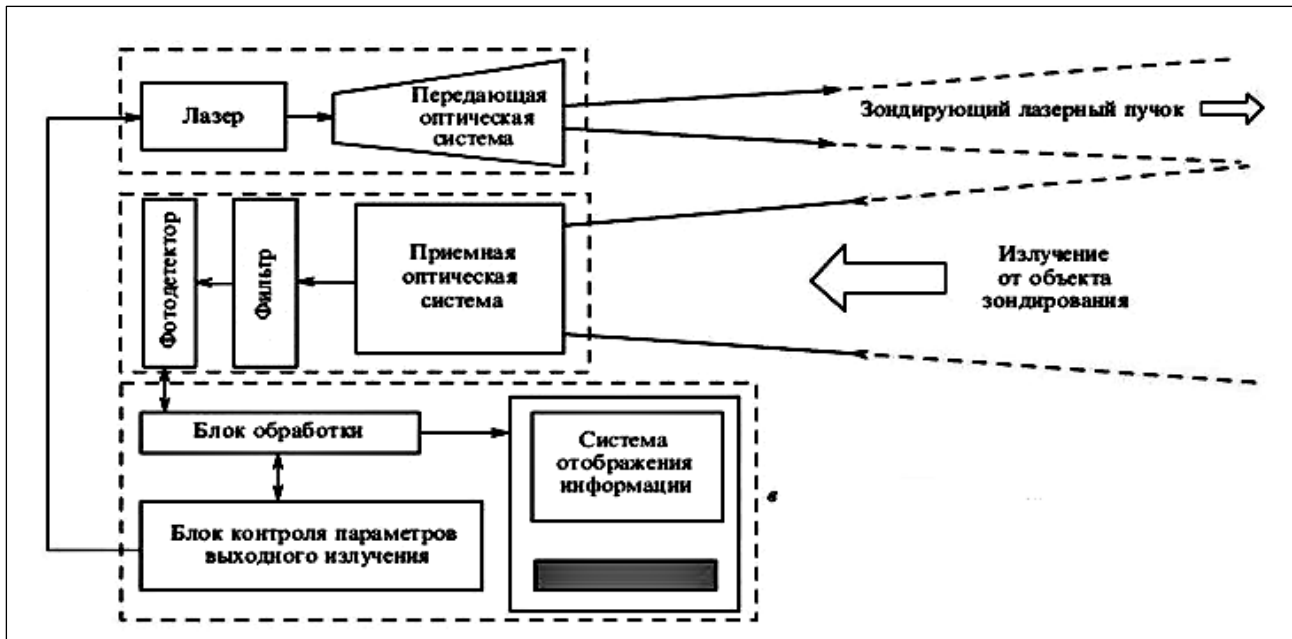


Рис.1 Принцип действия «SKYDEX-15».

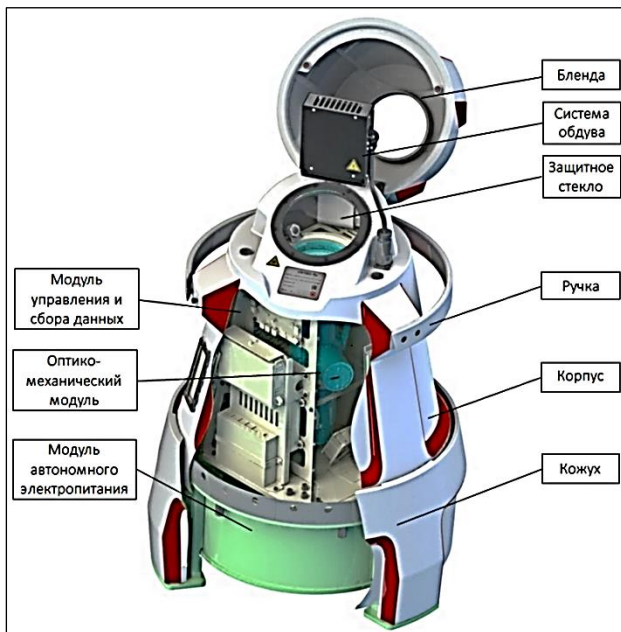


Рис.2 Устройство «Skydex-15».

но. Его относительная погрешность при измерениях в диапазоне высот от 100 до 8000 метров составляет $\pm 2\%$. Устройство выполнено по классической схеме с вертикальным излучением коротких мощных импульсов. Обратнo-отраженное и рассеянное излучение, вызванное дымкой, туманом, мглой, выпадающими осадками и облаками, регистрируется по мере прохождения лазерных импульсов через эти образования в атмосфере (рис.1).

«Skydex-15» – компактный, высокотехнологичный прибор (рис.2), состоящий из трех основных функциональных модулей, механически соединенных между собой и имеющих электронные и оптические каналы связи:

- модуль оптико-механический – служит для передачи излучения в атмосферу и приема отраженного сигнала;
- модуль управления и сбора данных – отвечает за управление оборудованием облакомера, сбор и обработку данных измерений с последующей их передачей;
- модуль автономного электропитания – обеспечивает оборудование прибора электропитанием от внешней сети или от аккумулятора. Основные технические характеристики прибора измерения высоты облачности «Skydex-15» приведены в **табл.1**.

Для точного предоставления результатов измерений важной задачей в сборе данных и их последующей обработке является необходимость различать приземный слой атмосферы и нижнюю границу облачности. Очень частой проблемой является принятие нижней части пограничного слоя атмосферы за облака, что весьма искажает выходную информацию. Точного их различения нельзя добиться аппаратным способом, поэтому специалистами АО «Лазерные системы» был разработан алгоритм обработки накопленного сигнала, усредненного за некоторый промежуток времени, определяющий нижнюю границу облачности с высокой достоверностью.

Пользовательское программное обеспечение осуществляет автоматический сбор измеренных данных, их последующую обработку и визуализацию результатов измерений. В режиме реального времени отображаются значения высоты нижней границы и ширины облачности (до трех слоев). При этом обеспечивается автоматическое сохранение данных измерений и возможность оператору в любой момент просмотреть эти данные. Также программное обеспече-

Табл.1 Основные технические характеристики облакомера «Skydex-15»

Техническая характеристика	Значение
Диапазон измерений высоты нижней границы облачности, м	10...8000
Пределы допускаемой погрешности измерений ВНГО: – абсолютной в диапазоне от 10 до 100 м включительно, м – относительной в диапазоне св. 100 до 8000 м, %	±5 ±2
Пространственное разрешение, м	10
Длительность одного цикла измерения, с	2...50
Количество измеряемых границ слоев облачности	до 3
Интерфейс связи	Ethernet, RS-485
Электропитание от сети переменного тока: – напряжение, В – частота, Гц	198...242 48,5...51,5
Длительность импульса лазерного излучения, нс, не более	3,5
Частота, кГц	2,7
Энергия импульса, мкДж, не менее	6
Время работы от встроенного источника постоянного тока, мин, не менее	15
Габаритные размеры (диаметр×высота), мм, не более	530×855
Масса, кг, не более	45
Потребляемая электрическая мощность, В·А, не более	400
Условия эксплуатации: – температура воздуха, °С – относительная влажность воздуха, %	-50...+60 до 100

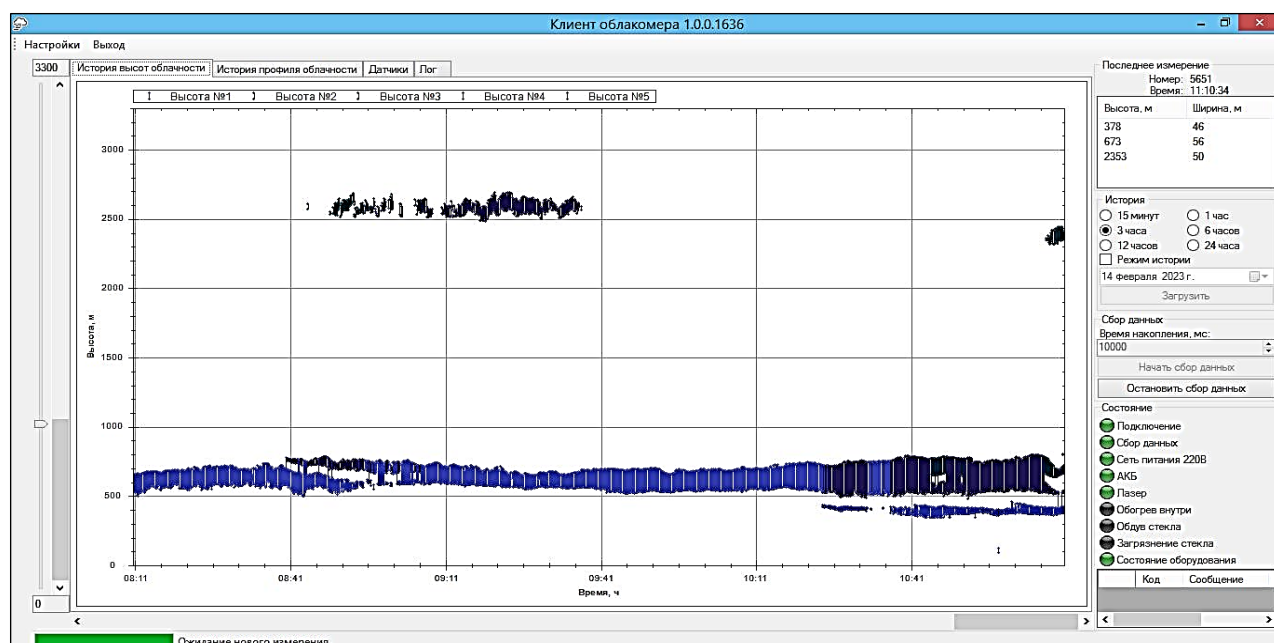


Рис.3 Отображение программным обеспечением истории высот облачности

чение контролирует текущее техническое состояние прибора, в случае возникновения нештатной ситуации – например загрязнение защитного стекла – выдает сообщение с предупреждением. (рис.3).

Уникальной особенностью «Skydex-15» является возможность применения устройства в режиме датчика, не требующего участия пользователя программного обеспечения. Прибор выдает информацию по согласованному

Табл.2 Сравнительные характеристики приборов

Технические характеристики	Лазерные системы «Skydex-15»	ЛОМО-метео DOL-2	Пеленг СД-02-2006	VAISALA CL31	DEGREAN HORIZON ALC30	JENOPTIK CHM15K «NIMBUS»
Длина волны, нм	1535	910	910	905	1535	1064
Диапазон измерения, м	10-8000	10-3000	15-7000	0-7600	15-7500	10-15000
Точность измерения	±5 м (10÷100) ±2% (100÷8000)	±10 м (10÷100) ±(0,05H+5) (100÷3000)	±10 м (15÷100) ±10% (100÷2000) ±5% (2000÷7000)	±10 м (10÷100) ±10% (100÷7600)	7,5	±5
Период измерения, сек	2...50	15	>15	2-120	15	2-3600
Потребляемая мощность, Вт	>400	500	>600	>310	450	800
Масса, кг	>45	40	50	>32	60	70

протоколу передачи данных. Это позволяет интегрировать облакомер в состав любой метеорологической информационно-измерительной системы, а также дает возможность прямой замены ранее использовавшегося прибора стороннего производителя на «Skydex-15».

Основными конкурентами на отечественном и международном рынках (приборами, измеряющими высоту нижней границы облачности, используя технологию лазерного дистанционного зондирования, являются «ЛОМО-метео» (Россия), «Пеленг» (Республика Беларусь), «VAISALA» (Финляндия), «DEGREAN HORIZON» (Франция), «JENOPTIK» (Германия). Все приборы

построены по одному принципу и имеют схожие характеристики, представленные в **табл.2**.

За последний год прибор измерения высоты облачности «Skydex-15» был представлен на ряде форумов и тематических выставок, таких как: «Международный форум и выставка «Погода, Климат, Вода, Дистанционное зондирование земли, Зеленая экономика»», «10-ая Национальная выставка и форум инфраструктуры гражданской авиации NAIS», «Фотоника-2023». На сегодняшний день прибор востребован, пользуется спросом у метеослужб аэродромов, аэропортов, институтов, занимающихся изучением атмосферных явлений.

Новая электроника: все только начинают бежать

Россия больше чем на десятилетие отстала в развитии электроники. Стоит ли молодежи вкладываться в развитие этой отрасли? Мнение, что для российской электроники не все потеряно и в новых направлениях – например, в фотозлектронике на основе размерно-квантованных структур –, у наших ученых большие перспективы, отстаивает **Виктор Попов**, молодой руководитель лаборатории квантовой фотосенсорики МФТИ, победитель конкурса «Ученые с международным опытом работы» МФТИ 2020 года, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых за 2022г.



Если говорить про кремниевую электронику, классическую электронику, которую мы с вами чаще всего используем, здесь отставание нашей страны достаточно существенное. Глупо пытаться это смягчить. Вот, допустим, всем известный завод «Микрон». Наиболее отработанная топологическая норма там сейчас 180 нанометров. Отдельные вещи они могут делать на 90 нанометрах. Для целого ряда задач этого более чем достаточно, но для тех же процессоров смартфонов нужно меньше. На небезызвестной тайваньской TSMC сейчас делают чипы по пятинанометровому техпроцессу, и там планируют еще меньшую

проектную норму внедрить в ближайшие годы. Это колоссальный разрыв. И под ним есть много всего, кроме самих технологий.

Но электроника в целом — она на самом деле не только кремниевая. Это огромный набор направлений. На мой взгляд и в целом взгляд экспертного научного сообщества, в других областях у нашей страны гораздо больше возможностей для развития. В том числе потому, что есть достаточно серьезные заделы. К тому же, например, по направлению, в котором наша лаборатория работает, — это формирование полупроводниковых приборов без использования монокристалльной или эпитаксиальной вакуумной технологии — за счет новых технологических принципов, в том числе методами печатной электроники здесь в целом мировой опыт имеет не такую глубокую историю. В этом направлении все только начали бежать. Наверное, это наша дорога — соревноваться там, где у нас больше возможностей, и становиться лучшими.

Безим...

В нашей стране есть достаточно интересные результаты, признаваемые на мировом уровне, в фотоэлектронике, высокочастотной электронике и в таком мультидисциплинарном направлении, как печатная электроника. Последнее — это, скорее, даже некая технологическая платформа, комплекс технологических приемов, который позволяет создавать разные приборы аддитивными методами в противовес методам классическим, связанным с травлением, литографией и т. д. Работа по новым направлениям идет достаточно плодотворно, и мы можем достичь здесь хороших результатов. Безусловно, в это интересно вкладывать свои усилия.

Есть еще один немаловажный фактор. Печатная электроника как технология гораздо дешевле, чем классическая. Это дает возможность масштабируемости и выхода на массовый рынок. Например, в фотоэлектронике приборы, сделанные на классической технологии, получаются очень дорогими. Это в целом мировая проблема. Ведь только для видимого спектра используется кремний. А в фотоэлектронике в целом применяется большой ряд очень разнообразных материалов. Это твердые растворы арсенидов индия и галлия, германий и так далее. Они требуют специализированных технологических процессов, травителей и резистов. В результате набирается очень приличная стоимость. Переход на принципиально другую, объективно на порядок более дешевую, например, аддитивную технологию формирования фоточувствительных элементов из квантоворазмерных объектов, которыми занимается наша лаборатория, позволит на порядок снизить стоимость чипов.

Возьмем, например, автомобиль и камеру помощи водителю в ночное время стоимостью \$100

или равную по стоимости автомобилю. Это совершенно разные возможности применения инфракрасной техники, переход на другое игровое поле с точки зрения рынка.

Лабораторию квантовой фотосенсорики мы организовали в 2022г. в рамках конкурса Минобрнауки. Она была создана в первую очередь для того, чтобы заниматься передовыми вопросами, связанными с созданием фоточувствительных элементов для спектрального диапазона 3–5 микрон. Это тепловой спектральный диапазон.

Основная задача лаборатории — разработка способов формирования фоточувствительных элементов на квантоворазмерных объектах. Прежде всего, это коллоидные квантовые точки, способные детектировать излучение в диапазоне 3–5 микрон. Мы планируем, что эта работа должна закончиться прототипом малоэлементной матрицы на основе размерно-квантованных структур такого рода.

Наша разработка найдет применение, например, в автомобильном и железнодорожном транспорте. В ночное время суток в любых метеоусловиях термодетектные камеры позволят предупреждать систему управления о том, что на дороге появился человек или животное. Сейчас беспилотный транспорт использует лидарное зрение. Оно строит трехмерную карту окружающего пространства, но не позволяет определить природу объектов, а это очень важно для принятия решения.

Кроме того, важна дальность видения системы. Например, у поезда тормозной путь может быть больше километра, поэтому для РЖД важно, чтобы камера позволяла отличить человека от условного бревна на большем расстоянии. Подобные приборы будут массово востребованы. К концу 2024 года мы должны изготовить такой прототип. Впереди нас сегодня несколько команд в Штатах и в Европе, но наше отставание здесь составляет буквально несколько лет. Это по меркам фотоэлектроники практически ничего. Направление новое и в нашей стране, и в мире, оно очень нужное. Хочется проверить несколько интересных идей, которые могут стать прорывными, и дальше реализовать их уже в промышленном производстве.

Я считаю, с одной стороны, мне повезло, что мои исследовательские интересы и внешние возможности так совпали, что по такому прорывному направлению удалось организовать специализированную лабораторию. С другой стороны, каждый этап моей карьеры стал частью того опыта, который позволил одержать победу в этом конкурсе. Я с отличием окончил Менделеевский университет по специальности «нанотехнологии и наноматериалы» в 2004 году, сначала занимался фундаментальной наукой, защитил кандидатскую в Академии наук, поработал за рубежом, затем пошел в индустрию. Я работал на базовом для

Физтеха предприятия, и мне захотелось расширить научную составляющую моей деятельности. В 2020 году решил принять участие в проводимом в МФТИ конкурсе: «Ученые с международным опытом работы». Я выбрал интересную для меня лабораторию, пришел со своей темой.

За прошедшие с тех пор два года нам удалось сделать довольно много в области исследования наноразмерных материалов для фотоники. В частности, ряд наших работ, посвященных разработке способов получения, исследованию поглощения в

ИК-диапазоне и нелинейным оптическим эффектам, были опубликованы в высокорейтинговых международных журналах, таких как *Nanophotonics*, *Optics Express* и другие. Знание «болей» и потребностей индустрии, а также научные результаты, полученные в МФТИ, позволили в 2022 убедить конкурсную комиссию Минобрнауки и промышленность в необходимости организации новой лаборатории, которой я сейчас руковожу.

<https://se7en.ws/novaya-elektronika-vse-tolkonachinayut-bezhat/>

ХРОНИКА

Очередное заседание Научно-технического совета ЛАС по биомедицинской фотонике

Последнее в первом полугодии 2023 года заседание НТС ЛАС по биомедицинской фотонике прошло традиционно в смешанном очно-дистанционном режиме 17 мая 2023 года на базе ФГБУ «Научно-практический центр лазерной медицины им. О.К.Скобелкина» ФМБА России. Рассматривался актуальный вопрос разработки технологии и организации серийного производства импортозамещающих отечественных оптических когерентных томографов для офтальмологии и других направлений медицины. Доклад на тему «Оптическая когерентная томография – российские разработки» представил ведущий разработчик отечественных систем оптической когерентной томографии (ОКТ), заведующий лабораторией высокочувствительных оптических измерений Института прикладной физики (ИПФ) РАН, д.ф.-м.н., Лауреат государственной премии Российской Федерации в области науки и техники *Григорий Валентинович Геликонов*.

В докладе прозвучала история создания отечественной технологии ОКТ, начиная с самого момента возникновения этой методики в 1990-х годах и по настоящее время. Были перечислены достижения российской группы ученых из ИПФ, включая уникальные, не имеющие мировых аналогов, разработки. Докладчик продемонстрировал существующие успехи как в физических методах приема и обработки сигнала, так и пионерские исследования в области медицины и биомедицины с использованием разработанного оборудования, часть из которого зарегистрирована в Минздраве и работает в ряде клиник Москвы и других регионов РФ. Докладчик также особо подчеркнул существующую острую проблему с широким внедрением разработок в медицинскую практику, а также отсутствие сегодня российского производства многих

ключевых компонентов, необходимых для серийного производства приборов ОКТ.

По окончании доклада прозвучали вопросы и состоялась дискуссия о перспективах применения ОКТ в практической медицине. С вопросами и в дискуссии выступили Председатель НТС по биомедицинской фотонике, д.м.н., директор ФГБУ «НПЦ ЛМ им. О.К.Скобелкина» ФМБА России *Алексей Викторович Баранов*; заместитель Председателя НТС, д.т.н., зав. лабораторией медико-физических исследований ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф.Владимирского *Дмитрий Алексеевич Рогаткин*; д.м.н., профессор ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М.Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет) *Андрей Зиновьевич Винаров*; к.т.н., доцент, главный научный сотрудник ООО НТО «ИРЭ-Полюс» *Владимир Павлович Минаев*; д.м.н., профессор, руководитель отделения амбулаторной лазерной медицины ФГБУ «НПЦ ЛМ им. О.К.Скобелкина» ФМБА России *Абдурахмонович Ачилов*; д.м.н., профессор РАН, заместитель директора по развитию Научно-клинического центра физико-химической медицины ФМБА РФ, чл.-корр. РАН *Елена Вадимовна Загайнова*.

Лейтмотивом большинства вопросов и сути дискуссии была следующая мысль. Безусловно, нашей стране нужны российские методики и приборы ОКТ. В первую очередь, и особенно с учетом международной ситуации, острая потребность ощущается в приборах ОКТ для офтальмологии. Это направление уже достаточно хорошо проработано в мире и стало рутинной офтальмологической практикой. В большинстве стран мира, включая и нашу страну, в стандарты оснащения офтальмологических кабинетов входят приборы ОКТ. Поэтому серийное производство российских систем ОКТ – не прос-

то вопрос импортозамещения, это вопрос соответствия нашей офтальмологии существующим мировым стандартам. Сегодня подавляющее большинство таких томографов в нашей стране – зарубежные, в частности, немецкие, фирмы Карл Цейс (Carl Zeiss). Стоит ли говорить о перспективах дальнейших закупок таких же новых и технического обслуживания имеющихся томографов? Поэтому в дискуссии прозвучало предложение от к.т.н. *В.П.Минаева* к докладчику побыстрее выходить на серийное производство таких приборов в нашей стране. Непонятно только, почему от *В.П.Минаева* как от представителя крупной фирмы-производителя лазерных приборов, в том числе медицинских, не прозвучало предложения освоить производство таких приборов на площадке «ИРЭ-Полюс». Ведь очевидно, что ни научный институт ИПФ, ни какое-либо существующее малое предприятие или, тем более, стартап не в состоянии с нуля организовать серийное производство такой продукции для всей страны. Здесь нужен серьезный индустриальный партнер с развитой производственной площадкой. И рынок приборов здесь понятен, и разработки российские есть, а от производителей предложения нет...

Более того, у технологии ОКТ есть и другие потенциальные сферы применения в медицине, помимо офтальмологии, что существенно может расширить рынок таких приборов. И докладчик, и в порядке обсуждения чл.-корр. РАН *Е.В.Загайнова* рассказали подробно о таких применениях, которые они прорабатывают сегодня в научном плане. Это и урология, и гинекология, и онкология. Однако в этих областях пока, к сожалению, общепризнанных методик еще не выработано. Идет предварительный этап научно-клинических исследований. Это как раз область деятельности нашего медицинского сообщества. Но и здесь, видимо, до полного взаимопонимания еще далеко. Не оспаривая возможные перспективы таких применений и правомерность постановки задачи, представитель Сеченовского университета, д.м.н. *А.З.Винаров* порекомендовал разработчикам побыстрее пройти этапы НИР и апробации и приходиться к ним в клинику уже с готовой технологией и зарегистрированным прибором. На вопрос же д.т.н. *Д.А.Рогаткина*: «...а может ли Сеченовский университет помочь разработчикам в апробации и совместно провести необходимые НИР, собрать доказательную базу, как, например, это сейчас делает МОНКИ им. М.Ф.Владимирского (МОНКИ купил у разработчиков прототип нового 3D томографа, помогая им таким образом развиваться, и ведет исследования в области дерматологии)», к сожалению, прозвучал странный ответ, что врачи не готовы вкладываться, покупать прибор за свои

деньги и т.д., а готовы только работать с готовым продуктом, имеющим регистрационное удостоверение. Честно говоря, странная позиция коллег-ученых. Речь не идет об их личных деньгах. Деньги в рамках научных грантов найти всегда можно. Речь идет о совместных перспективных исследованиях, которые, в первую очередь, на данном этапе созданных прототипов должны быть интересны врачам. Это нормальная работа в сообществе, когда кооперируются врачи и разработчики и создают совместный продукт, технологию, методики применения. А как разработчик один без врачей создаст технологию? Это невозможно.

Дискуссию завершил Председатель НТС, д.м.н. *А.В.Баранов*. Он обобщил высказанные замечания, предложения и тоже, со своей стороны, призвал всех к совместной работе, если мы хотим, чтобы в стране что-то развивалось в области биомедицинской фотоники. Он также высказал мнение, что для офтальмологии, безусловно, ЛАС должна всячески, по его мнению, способствовать поиску партнеров-производителей оборудования для ОКТ. А для других практических приложений призвал своих коллег-ученых обязательно присмотреться к данной технологии и активнее включаться в исследования по своим специальностям уже на этом этапе, т.к. здесь возможны новые прорывные технологии, которые будут иметь российский приоритет.

По итогам заседания НТС принял заключение:

1. На основании представленных в докладе данных о российских разработках считать актуальной организацию производства в порядке импортозамещения отечественных оптических когерентных томографов для офтальмологии.

2. Руководству ЛАС и ТП «Фотоника» при формировании программ развития по биофотонике целесообразно поддержать развитие когерентной томографии и в других областях медицины. Данное научное направление целесообразно представить для изучения и, в дальнейшем, для практического применения в клинике.

3. Заинтересованным медицинским специалистам при проведении научных исследований и клинической апробации технологии оптической когерентной томографии в урологии, гинекологии и других областях медицины рекомендуется кооперироваться с разработчиками из ИПФ РАН, являющимися ведущими экспертами в данной области в нашей стране.

4. Рекомендовано обратить внимание производителей медицинской техники в составе ЛАС и технологической платформы «Фотоника» на данные научные разработки и, по возможности, способствовать организации производства оборудования для ОКТ.

Д.А.Рогаткин, зам. председателя НТС,
член Совета ЛАС

ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ**Брака на производстве не будет: ученые СПбПУ создали спектрометр на роботизированной платформе**

В Петербургском Политехе команда ученых разработала чувствительный интеллектуальный инфракрасный миниспектрометр на базе матрицы спектрометра LMS, совмещенный с роботизированной платформой. Применение данного прибора позволит перейти от выборочного контроля сырья и продукции к полному, что позволит повысить эффективность использования материалов и исключить брак при производстве.

Прибор по спектральным характеристикам отраженного света получает определённую информацию с поверхности материалов и проводит их качественный и количественный анализ – определяет содержание влаги в зерновых крупах, жирность молочной продукции, определяет качество бензина, дизельного топлива, пластмасс.

Политехникам удалось усилить оптический сигнал благодаря иммерсионной технологии формирования микролинз на плате с чипами, с размерами линз всего 500 мкм в диаметре и высотой 320 мкм. Это позволило повысить выходящую мощность прибора в 4 раза, что, в свою очередь, усилило чувствительность прибора.

Данный прибор раскрыл свои возможности благодаря специально разработанному программному обеспечению, позволяющему работать как в режиме накопления или сбора данных, так и в режиме классификации. Последний режим позволяет распознавать объекты по спектрам отражения, используя ранее накопленную информацию. Дополнительно к миниспектрометру разработана программа, которая позволяет собирать огромное количество спектральных данных в автоматизированном режиме. Обученная по этим данным модель более корректно описывает объект и минимизирует ошибки классификаций.

Разработанный комплекс, состоящий из полупроводниковой матрицы промышленного партнёра, усиленного оптического блока, роботизированной платформы и программного обеспечения с элементами машинного обучения, позволяет обеспечить ультранизкое энергопотребление, автоматизировать сбор спектральных данных и обучение при-

бора. Интеллектуальная «начинка» прибора позволяет создавать свои базы материалов и сортировать объекты, опираясь на накопленные данные. В настоящий момент в России нет аналогов подобной системы.

«Использование разработанного комплекса позволяет предприятиям самостоятельно «натаскивать» прибор на свой технологический процесс и расширить спектр применения, что позволит внедрить его на небольших предприятиях, где экономически не оправданы организация и содержание стандартной химической лаборатории. Внедрение технологии позволит повысить эффективность работы малых предприятий и сократить складские расходы. Например, для сыроварения важно содержание белка в молоке, и частные сыроварни сталкиваются с проблемой входного контроля. Причем при неправильном выборе вся партия может пойти в утиль, что существенно повышает риск данного бизнеса и ограничивает выход на рынок новых уникальных сортов сыра, как, например, это развито в Бельгии», – комментирует руководитель проекта, доцент, директор НОЦ «Нанотехнологии и покрытия» Александр Семенча.

Использовать разработанный комплекс возможно в лабораториях хлебоприемных, мукомольных и хлебопекарных предприятий, комбикормовых заводов, птицефабрик, животноводческих комплексов, маслоэкстракционных и масложировых заводов, хлебных инспекций, центров стандартизации и метрологии, санэпиднадзора.

<https://scientificrussia.ru/articles/braka-na-proizvodstve-ne-budet-ucenye-spbpu-sozdali-spektrometr-na-robotizirovannoj-platforme>

Ученые из России с помощью лазера улучшили работу датчиков утечки опасных газов

Новый метод позволит упростить мониторинг вредных выбросов в атмосферу и контролировать безопасность на предприятиях.

Российские ученые разработали методику, которая позволяет повысить чувствительность промышленных и лабораторных датчиков утечки углекислого газа, метана и различных продуктов нефтепереработки при помощи лазерной обработки пленок из селенида свинца, используемых для улавливания этих газов. Об этом сообщила

недавно пресс-служба петербургского Университета ИТМО.

«Наш метод позволит упростить мониторинг вредных выбросов в атмосферу и контролировать безопасность на предприятиях, в научных лабораториях, где имеют дело с опасными газами - углекислым и метаном. Это особенно важно в нефте-

газовой промышленности и на местах добычи полезных ископаемых, например, в угольных шахтах», – пояснила младший научный сотрудник Института лазерных технологий ИТМО (Санкт-Петербург) *Анастасия Ольхова*

Как объясняют исследователи, созданный ими датчик выбросов опасных газов основан на использовании тонких пленок из селенида свинца. Эти пленки способны улавливать излучение, которое вырабатывается в результате взаимодействий между молекулами углекислого газа, метана и продуктов переработки нефти с излучением от встроенного в детектор источника инфракрасных волн.

Ученые обнаружили, что чувствительность таких детекторов можно значительным образом повысить, если обработать поверхность пленок при помощи специфических импульсов лазерного излучения с длинами волн в 405 и 1 064 нанометров. Подобные вспышки света позволяют удалить дефекты с поверхности пленок и структурировать их поверхность таким образом, что материал станет особенно чувствительным к изменениям спектра ИК-излучения.

«Разрабатываемый лабораторный газоанализатор основан на оптическом принципе детектирования. Инфракрасное излучение от источника с длинами волн от трех до пяти микрометров проходит через открытое пространство, заполненное газом, молекулы которого имеют пики поглощения в данном диапазоне. Определенные спектральные линии, соответствующие этим пикам, затухают, в результате чего меньшее количество излучения доходит до пленки. Такую зависимость можно фиксировать в режиме реального времени, что и делает газоанализатор», – уточнила *Ольхова*.

По словам исследователей, созданная ими технология лазерной модификации полностью автоматизирована. Для ее работы достаточно задать нужные параметры для модификации пленок детектора, чтобы получать повторяемые характеристики на выходе. Предложенный учеными метод не требует дорогого оборудования, что позволит быстро внедрить его на реальные промышленные объекты, подчеркнули исследователи.

<https://nauka.tass.ru/nauka/18075741>

★ ★ ★

Теория относительности Эйнштейна получила новое подтверждение благодаря Луне и лазеру

Если мы предположим, что пассивная и активная гравитационные массы не равны, что их соотношение зависит от материала – то объекты из разных материалов с разным центром масс должны ускоряться. Поскольку Луна состоит из алюминиевой оболочки и железного ядра, с центрами масс, смещенными друг относительно друга, Луна должна ускоряться.

Такое гипотетическое изменение скорости можно было бы измерить с высокой точностью с помощью «лунного лазерного дальномера». В таком дальномере используется лазерное излучение с Земли, направляемое на отражатели на Луне, размещенные там миссиями «Аполлон» (США) и советской программы «Луна».

В эксперименте фиксируется время возвращения отраженных лазерных импульсов. Ганноверская группа проанализировала собранные за период в 50

лет, с 1970 по 2022 год, данные «лунного лазерного дальномера», пытаясь обнаружить влияние предполагаемой разницы масс. Никакого эффекта не было обнаружено. Это означает, что пассивная и активная гравитационные массы Луны равны примерно до 14 знаков после запятой. Эта оценка в сто раз точнее, чем было получено в лучшем предыдущем исследовании, датированном 1986 годом.

Институт геодезии Лейбниц-университета Ганновера – один из четырех центров в мире, исследующих лазерные измерения расстояния до Луны. Здесь обладают уникальным опытом оценки данных, собираемых для проверки общей теории относительности. В проведенном исследовании Институт изучил измерения по схеме лунного лазерного дальномера, включая анализ ошибок измерений и интерпретацию результатов.

<https://xn--80akfo2a.xn--p1ai/2023/07/19/26336/>

«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 30101810400000000225
БИК 044525225