



Современная радиофотоника в России:

отчет с научно-практической
конференции «Радиофотоника»
в рамках Конгресса российской
технологической платформы
«Фотоника»

А. А. Ким^{1,2}, А. Д. Губарев^{1,2}

¹ АО «Лазерные системы», Санкт-Петербург, Россия

² Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург,
Россия

С 30 марта по 2 апреля в Москве в ЦВК «Экспоцентр» прошла XV ежегодная Международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики», ставшая в 2021 году юбилейной. К сожалению, в 2020 году из-за пандемии выставка была отменена. Традиционно это мероприятие является ключевым событием для отечественной отрасли высоких технологий в сфере фотоники, оптики и лазерной техники, на котором не только представлены отечественные и зарубежные производители специализированного оборудования и оптических компонентов, но и проводятся заседания тематических секций обширной деловой программы, на которых докладчики ведущих российских научно-исследовательских и производственных предприятий представляют передовые результаты своей деятельности.

Ключевые слова: радиофотоника, конференция, обзор, радиофотоника в России

Статья получена: 15.04.2021

Принята к публикации: 19.05.2021

* Примечание: Материал подготовлен на основе докладов участников XV ежегодной Международной специализированной выставки лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики», секция «Радиофотоника», 30.03–02.04.2021, Москва.

Modern Microwave Photonics in Russia:

Report From the Scientific-
Practical Conference “Microwave
Photonics” in the Framework of the
Congress of the Photonics Russian
Technological Platform

A. A. Kim^{1,2}, A. D. Gubarev^{1,2}

¹ Laser Systems LLC, St. Petersburg, Russia

² BSTU “VOENMEH” named after D. F. Ustinov, St. Petersburg,
Russia

The XV International specialized exhibition of laser, optical and optoelectronic equipment “Photonics. World of Lasers and Optics” took part from March 30 till April 2. The exhibition became an anniversary in 2021. Unfortunately, the exhibition was canceled in 2020 due to the pandemic. Traditionally, this is important event for the high-tech industry in the field of photonics, optics and laser technologies, where manufacturers of specialized equipment and optical components from different countries are represented. Also meetings of thematic sections of an extensive business program are held, at which speakers from leading Russian research and production enterprises present the advanced results of their activities.

Keywords: microwave photonics, conference, review, microwave photonics in Russia

Received on: 15.04.2021

Accepted on: 19.05.2021

This year, within the framework of the traditional Congress of the Photonics Russian technological platform, 13 scientific and practical conferences were held on promising directions for the development of photonics in the Russian Federation, one of which, chaired by V. V. Valuev (STC Module CJSC), focused on

* Note: The material was prepared on the reports of the participants of the XV annual international specialized exhibition of laser, optical and optoelectronic technology «Photonics. World of Lasers and Optics», Microwave photonics Section, 30.03–02.04.2021, Moscow.

В этом году в рамках традиционного Конгресса российской технологической платформы «Фотоника» состоялось 13 научно-практических конференций, посвященных перспективным направлениям развития фотоники в Российской Федерации, одна из которых под председательством В.В.Валуева (ЗАО «НТЦ «Модуль») сфокусировалась на обсуждении актуальных достижений, перспектив и проблем современного направления радиофотоники в России.

Научно-техническое направление радиофотоники (microwave photonics) базируется на принципах сверхвысокочастотной модуляции оптического излучения электрическим сигналом в средах, обладающих электрооптическим эффектом. Одной из наиболее распространенных платформ элементной базы радиофотоники являются структуры LiNbO_3 . На сегодняшний день передовым отечественным производителем серийной продукции на основе технологий ниобата лития является «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» (ПАО «ПНППК»), которую с докладом «Электрооптические компоненты на основе технологий ниобата лития для применения в системах радиофотоники и измерения электрических величин» представлял Журавлев Антон, начальник лаборатории радиофотонных компонентов ПАО «ПНППК». В числе прочего на сегодняшний день освоено серийное производство амплитудных модуляторов в герметичном исполнении с шириной полосы пропускания до 4ГГц, ведутся работы по созданию фазового модулятора (рис. 1).

Параллельно ведутся работы по созданию датчиков электрических величин на основе технологий интегральной оптики, которые имеют широчайший спектр возможных применений: от измерительного оборудования до чувствительных элементов радиофотонных локаторов (рис. 2).

В рамках обсуждения представленного доклада особый интерес вызвали перспективы развития интегральной фотоники в аспекте создания более сложных устройств и интегральных оптических схем на одном субстрате. Однако нельзя не отметить и консервативность и ограниченность отечественного рынка основных компонентов радиофотоники. К сожалению, новая высокотехнологичная серийная продукция пока что не поддер-

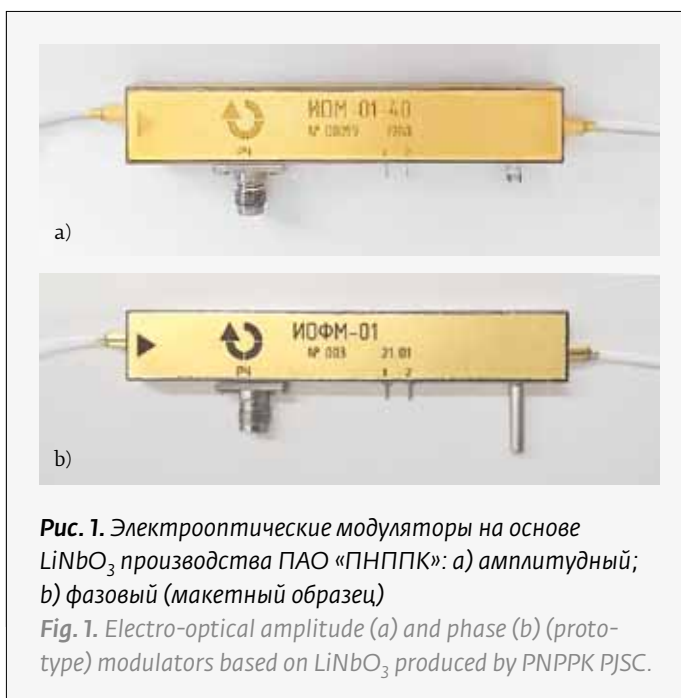


Рис. 1. Электрооптические модуляторы на основе LiNbO_3 производства ПАО «ПНППК»: а) амплитудный; б) фазовый (макетный образец)

Fig. 1. Electro-optical amplitude (a) and phase (b) (prototype) modulators based on LiNbO_3 produced by PNPJK PJSC.

discussing actual achievements, prospects and problems of the modern direction of microwave photonics in Russia.

The scientific and technical direction of radio photonics (microwave photonics) is based on the principles of microwave modulation of optical radiation by an electric signal in media with an electro-optical effect. LiNbO_3 structures are one of the most common platforms for the elemental base of microwave photonics. Today, the leading domestic manufacturer of serial products based on lithium niobate technologies is the Perm Scientific and Production Instrument Making Company (PNPPK PJSC), which with its report “Electro-optical components based on lithium niobate technologies for use in radio photonics and measurement of elec-

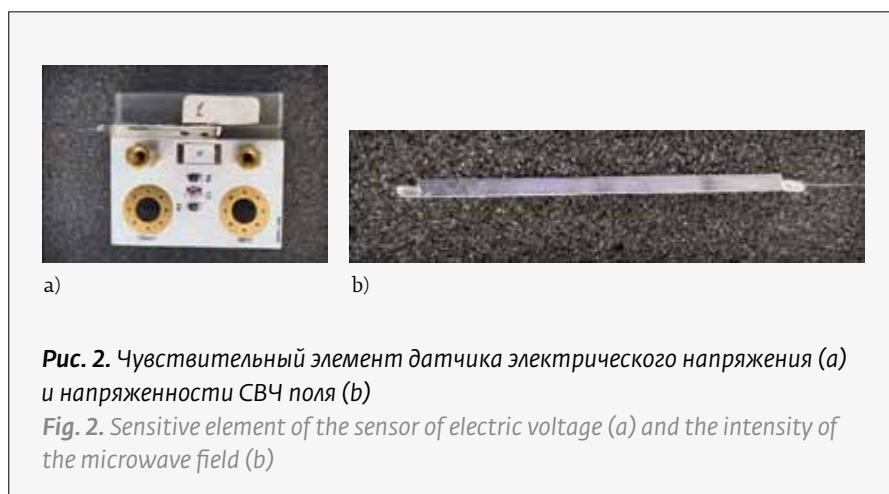


Рис. 2. Чувствительный элемент датчика электрического напряжения (а) и напряженности СВЧ поля (б)

Fig. 2. Sensitive element of the sensor of electric voltage (a) and the intensity of the microwave field (b)

живается высоким спросом. Тем не менее, есть основания полагать, что это перспективное направление в ближайшие годы получит развитие в области интегральной фотоники, а также будет поддержано повышающимся рыночным спросом.

В докладе Виктора Петрова (Университет ИТМО) «Технологии радиофотоники в квантовых информационных системах» были представлены промежуточные результаты совместной работы Университета ИТМО и ФТИ им. А.Ф.Иоффе. В докладе речь шла о некоторых возможных применениях элементов радиофотоники и о разработке электрооптического модулятора для применения в задачах квантовых коммуникаций и криптографии. В частности, такие модуляторы необходимы для рассылки квантового ключа на боковых частотах при высокочастотной модуляции оптической несущей. Высокая эффективность разработанного модулятора в переносе энергии в боковые частоты позволяет реализовать генератор высших оптических гармоник – генератор т. н. оптической гребенки и широкополосный квантовый генератор шума. Для этих целей был разработан балансный фотодетектор на основе InP с шириной полосы до 4ГГц (рис. 3).

В качестве перспективного направления отмечена разработка модуляторов, обращающих поляризацию, и модуляторов, имеющих спаренные выходы с ортогональной поляризацией оптического сигнала.

Доклад коллектива авторов из СПбГЭТУ «ЛЭТИ», представленный Алексеем Устиновым, был посвя-



Рис. 3. Элементы разработанного балансного фотодетектора на основе InP фотоприемников, применяемого в схеме квантового генератора шума

Fig. 3. Elements of the developed balanced photodetector based on InP photodetectors used in the quantum noise generator circuit



Рис. 4. Макетный образец оптоэлектронного генератора разработки СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Fig. 4. Prototype of an optoelectronic generator developed by ETU "LETI"

trical quantities” represented by Anton Zhuravlev, head of the laboratory of microwave photonic components of PNPPK PJSC. Among other things, to date, mass production of amplitude modulators in a sealed design with a bandwidth of up to 41 GHz has been mastered, work is underway to create a phase modulator (Fig.1).

In parallel, work is underway to create sensors for electrical quantities based on integrated optics technologies, which have the widest range of possible applications: from measuring equipment to sensitive elements of microwave photon locators (Fig.2).

Within the framework of the discussion of the presented report, particular interest was aroused by the prospects for the development of integrated photonics in the aspect of creating more complex devices and integrated optical circuits on a single substrate. However, it should be noted that the domestic market for the main components of microwave photonics is conservative and limited. Unfortunately, new high-tech serial products are not yet supported by high demand. Nevertheless, there is reason to believe that this promising direction will be developed in the field of integral photonics in the coming years, and will also be supported by increasing market demand.

In the report of Victor Petrov (ITMO University) “Technologies of Microwave photonics in Quantum Information Systems” were presented the interim results of the joint work of ITMO University and A. F. Ioffe PTI. The report was about some possible applications of radio photonics elements and about the development of an electro-optical modulator for use in problems of quan-



Рис. 5. Трехдиапазонный метеорологический комплекс «Лира», АО «Лазерные системы»
Fig. 5. Tri-band meteorological complex "Lira", Laser Systems JSC

щен разработке перестраиваемого маломощного оптоэлектронного СВЧ-генератора (рис. 4) – еще одного перспективного направления радиофотоники. СВЧ-генераторы являются одним из ключевых элементов систем связи, навигации, радиолокации и многих измерительных систем, причем от стабильности их характеристик во многом зависят и свойства всех систем на их основе. Повышение эксплуатационных характеристик систем требует снижения фазовых шумов задающих генераторов и повышения их частотной стабильности. В этом аспекте оптоэлектронные задающие генераторы потенциально способны обеспечить качественно более высокие показатели.

На сегодняшний день разработанный коллективом оптоэлектронный СВЧ-генератор, среди всех описанных в мировой литературе, обладает наименьшим уровнем фазовых шумов, приближающимся к отметке -160дБ/Гц на частотной отстройке 10кГц при частоте генерации вблизи 6ГГц . Генератор с частотой около $10,5\text{ГГц}$ оказался третьим в списке

tum communications and cryptography. In particular, such modulators are necessary for the distribution of a quantum key at side frequencies during high-frequency modulation of an optical carrier. The high efficiency of the developed modulator in transferring energy to side frequencies makes it possible to implement a generator of higher optical harmonics – a generator of the so-called optical comb and broadband quantum noise generator. For these purposes, a balanced InP-based photodetector with a bandwidth of up to 4GHz was developed (Fig.3).

The development of modulators that reverse polarization and modulators with paired outputs with orthogonal polarization of the optical signal are noted as a promising direction.

The report of a team of authors from SPb ETU "LETI", presented by Alexey Ustinov, was devoted to the development of a tunable low-noise optoelectronic microwave generator – another promising direction of radio photonics (Fig.4). Microwave generators are one of the key elements of communication systems, navigation, radar and many measuring systems, and the properties of all systems based on them largely depend on the stability of their characteristics. Improving the performance of systems requires reducing the phase noise of the master oscillators and increasing their frequency stability. In this aspect, optoelectronic master oscillators are potentially capable of providing qualitatively higher performance.

To date, the optoelectronic microwave generator developed by the collective, among all those described in the world literature, has the lowest phase noise level approaching -160dB/Hz at a frequency offset of 10kHz at a generation frequency near 6GHz . The generator with a frequency of about $10,5\text{GHz}$ was the third in the list of the lowest noise optoelectronic generators, second only to the development of FEMTO-S from France.

In his report "Multi-band systems for remote sensing of the atmosphere using radio photonics elements",

Оптико-голографические приборы



- проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ в области голографических технологий
- изготовление голограммных и дифракционных оптических элементов
- разработка и создание оптико-голографических устройств дополненной реальности (AR-технологии), устройств контроля подлинности защитных голограмм
- организация и проведение тематических конференций, школ, семинаров и выставок в области голографических технологий



ООО «ОГП» РФ, 107076, г. Москва, ул. Матросская тишина, д. 23, стр. 2, под. 1а, эт. 5, п. XXV, к. 18,
тел.: +7(499)263-63-44, e-mail: kus_a_s@mail.ru



самых малошумящих оптоэлектронных генераторов, уступив лишь разработке FEMTO-S из Франции.

В докладе Алексея Кима «Многодиапазонные системы дистанционного зондирования атмосферы с применением элементов радиофотоники», представляющего компанию АО «Лазерные системы», Санкт-Петербург, речь шла о перспективном направлении интеграции оптических и радиочастотных зондирующих подсистем на физическом уровне путем применения элементной базы и схемотехнических решений радиофотоники. Дистанционное зондирование атмосферы с целью измерения динамических характеристик воздушных масс и построения динамических профилей и ветровых полей традиционно осуществляется в радиочастотных и оптическом диапазонах частот методами когерентной эхолокации (рис. 5). Каждый из частотных диапазонов зондирования имеет свои преимущества и недостатки, однако комплексирование как минимум трех частотных диапазонов (X, Ka и ИК) позволяет получить систему, уникальную по совокупности своих эксплуатационных качеств как в части высокой информативности и эффективности, так и в части обеспечения работоспособности во всепогодных условиях. Комплексирование нескольких независимых подсистем на верхнем уровне программной обработки сигналов сопряжено с множеством технических и технологических трудностей и в перспективе является тупиковым направлением. Однако радиофотоника позволяет комплексировать подсистемы уже на уровне физическом. Так, например, высококогерентный лазер, являющийся основой лидарного измерительного канала, может служить источником излучения для перестраиваемого СВЧ оптоэлектронного задающего генератора X, Ku и Ka диапазонов, обеспечивая при этом высочайшую фазовую стабильность и когерентный режим детектирования. С другой стороны, методами радиофотоники также может быть реализован и оптический прием радиочастотного сигнала, что позволит существенно оптимизировать состав многодиапазонной системы, осуществляя обработку сигналов, перенесенных на оптическую несущую, единым программно-аппаратным комплексом.

Таким образом, многодиапазонные системы дистанционного зондирования атмосферы являются перспективным направлением и потенциальным потребителем технологий и элементной базы радиофотоники.

Разработке технологии создания модулятора X-диапазона на базе фосфида индия был посвящен доклад Ивана Васильевского, представляющего коллектив авторов из НИЯУ МИФИ и НИИ Полюс,

representing the company Laser Systems, St. Petersburg, Alexey Kim spoke about a promising direction of integration of optical and radio frequency sounding subsystems at the physical level by using the element base and circuitry solutions of radio photonics. Remote sensing of the atmosphere for the purpose of measuring the dynamic characteristics of air masses and constructing dynamic profiles and wind fields is traditionally carried out in radio frequency and optical frequency ranges by coherent echolocation methods (Fig. 5). Each of the frequency ranges of sensing has its own advantages and disadvantages, however, the integration of at least three frequency ranges (X, Ka and IR) makes it possible to obtain a system that is unique in its aggregate performance both in terms of high information content and efficiency, and in terms of ensuring operability in all weather conditions. The integration of several independent subsystems at the upper level of software signal processing is fraught with many technical and technological difficulties and in the future is a dead-end direction. However, microwave photonics makes it possible to integrate subsystems already at the physical level. For example, a highly coherent laser, which is the basis of a lidar measuring channel, can serve as a source of radiation for a tunable microwave optoelectronic master oscillator in the X, Ku, and Ka bands, while providing the highest phase stability and coherent detection mode. On the other hand, optical reception of a radio frequency signal can also be realized using radio photonics methods, which will significantly optimize the composition of a multi-band system by processing signals transferred to an optical carrier using a single software and hardware complex.

Thus, multi-band systems for remote sensing of the atmosphere are a promising area and a potential consumer of technologies and elemental base of radio photonics.

Ivan Vasilievsky, representing a team of authors from NRNU MEPhI and SRI Polyus, Moscow, was devoted to the development of the technology for creating an X-band modulator based on indium phosphide. The A3B5 platform, to which the InP material belongs, is in the world practice one of the key platforms in the production of integrated radio photonics components. The team's work is aimed at mastering a new promising platform. The development of a modulator on a new platform turns out to be a complex task, the solution of which begins with the modeling of a material – a multi-layer heterostructure and modulator topology. The next stages are development of growth technology, post-growth processing, packaging and measurement of output characteristics. At the moment, it is announced that a scientific and technical groundwork has been

Москва. Платформа АЗВ5, к которой относится материал InP, в мировой практике является одной из ключевых в производстве компонентов интегральной радиофотоники. Работа коллектива нацелена на освоение новой перспективной платформы. Разработка модулятора на новой платформе оказывается сложной комплексной задачей, решение которой начинается с моделирования материала – многослойной гетероструктуры и топологии модулятора. Следующими этапами становятся отработка ростовой технологии, постростовая обработка, корпусировка и измерение выходных характеристик. На текущий момент заявляется, что создан научно-технический задел по разработке комплексных подходов по созданию интегральной радиофотоники на платформе InP, отработано моделирование слоев гетероструктур, оптической и СВЧ-подсистем, разработаны технологии прецизионной литографии совместно с АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха», а также развиваются подходы по улучшению параметров модуляторов: увеличению полосы модуляции до 25 ГГц, снижению оптических потерь и т. д.

Доклад Андрея Иванова от АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха» был посвящен ОКР-разработке: серийному освоению мощного лазера с распределенной обратной связью с длиной волны 1550 нм.

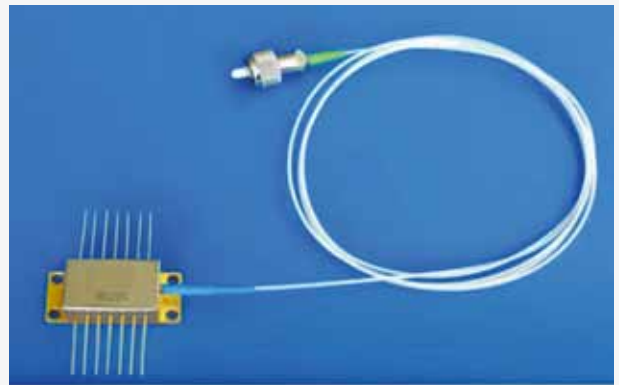


Рис. 6. Одночастотный DFB-лазер в корпусе Butterfly разработки АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха»
Fig. 6. Single-frequency DFB laser in the Butterfly case developed by M. F. Stelmakh SRI Polyus JSC

created for the development of integrated approaches to the creation of integrated microwave photonics on the InP platform, modeling of layers of heterostructures, optical and microwave subsystems has been worked out, technologies of precision lithography have been developed in cooperation with M. F. Stelmakh SRI Polyus JSC,



Новые фотонные устройства 2021!

Узнайте больше о новых инновационных электро-вакуумных приборах, которые мы недавно разработали и изготовили!

Эти изделия подходят для таких областей, как лазерная микроскопия, проточная цитометрия, диагностика *in vitro*, масс-спектрометрия, физика высоких энергий, промышленные принтеры, различные индустриальные применения и неразрушающий контроль.

HAMAMATSU
 PHOTON IS OUR BUSINESS
www.hamamatsu.com

Представительство Hamamatsu Photonics в России и СНГ
 Тел: +7 (495) 258-85-18, E-mail: info@hamamatsu.ru

В настоящее время уже освоено серийное производство мощных частотно-многомодовых лазеров на резонаторе Фабри-Перо и фотоприемных модулей, обеспечивающих ширину полосы пропускания до 10–12 ГГц. Тем не менее в докладе отмечается, что современная элементная база радиофотоники и схемотехнические решения в большинстве случаев рассчитаны на применение одночастотных DFB-лазеров на 1,55 мкм, при этом вопрос повышения оптической мощности является достаточно актуальным.

В результате был разработан РОС-лазер в стандартном корпусе Butterfly и волоконным выводом (стандартное волокно, волокно с сохранением поляризации), обладающий пороговым током генерации около 100 мА и выходной оптической мощностью 50 мВт при токе накачки 500 мА. Ширина линии генерации при 50 мВт составила не более 200–300 кГц, а RIN = -150 дБ/Гц (рис. 6). Продолжением доклада стала презентация разработанного фотоприемного модуля с входной мощностью более 50 мВт и шириной полосы от 0,1 до 12 ГГц. Спектральная чувствительность в диапазоне: 0,9–1,6 мкм варьируется в пределах 0,75–1 А/Вт (рис. 7).

Отмечается, что производство мощного РОС-лазера на 1,55 мкм и фотоприемного модуля освоено серийно.

С докладом на тему «Аналого-цифровые фотонные устройства для радиотехнических систем» выступил профессор НИЯУ МИФИ Ростислав Стариков. В своем докладе он осветил ряд зарубежных и российских исследований в области построения радиофотонных трактов передачи. Были продемонстрированы характеристики аналоговых трактов с цифровым выходом и показаны возможности современных аналого-цифровых преобразователей. На основании этого были сформулированы основные факторы, ограничивающие возможности аналого-цифрового преобразования.

Важнейшим направлением аналого-цифрового преобразования считается разработка и внедрение фотонных АЦП. В оптике существует возможность оцифровать сигнал со скоростью 10 Твыб/с и также получить высокую точность оцифровки за счет того, что оптические источники имеют низкий фазовый шум. В подтверждение вышесказанного Стариков показал примеры нескольких



Рис. 7. Мощный фотоприемный модуль разработки АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха» с шириной полосы до 12 ГГц и мощностью до насыщения более 50 мВт

Fig. 7. Powerful photodetector module developed by M. F. Stelmakh SRI Polyus JSC with a bandwidth of up to 12 GHz and a saturation power of more than 50 mW

and approaches are also being developed to improve the parameters of modulators: to increase the modulation bandwidth to 25 GHz, reduce optical losses, etc.

The report by Andrey Ivanov from M. F. Stelmakh SRI Polyus JSC was devoted to R&D development: the serial development of a powerful laser with distributed feedback with a wavelength of 1550 nm (Fig. 6). At present, the serial production of high-power frequency-multimode lasers based on a Fabry-Perot resonator and photodetector modules, providing a bandwidth of up to 10–12 GHz, has already been mastered. Nevertheless, the report notes that the modern element base of radio photonics and circuitry solutions in most cases are designed for the use of single-frequency DFB lasers at 1.55 μm, while the issue of increasing the optical power is quite urgent.

As a result, a POC laser was developed in a standard Butterfly package and fiber output (standard fiber, fiber with polarization retention), which has a threshold lasing current of about 100 mA and an optical output power of 50 mW at a pumping current of 500 mA. The generation line width at 50 mW was no more than 200–300 kHz, and RIN = -150 dB/Hz. The report was continued by the presentation of the developed photodetector module with an input power of more than 50 mW and a bandwidth from 0.1 to 12 GHz. Spectral sensitivity in the range: 0.9–1.6 μm varies within 0.75–1 A/W (Fig. 7).

It is noted that the production of a high-power DFB laser at 1.55 μm and a photodetector module has been mastered in series.

Professor R. S. Starikov of NRNU MEPhI made a report on the topic “Analog-digital photonic devices for radio engineering systems”. In his report, he highlighted a number of foreign and Russian studies in the field of constructing microwave photon transmission paths. The characteristics of analog paths with a digital output were demonstrated and the capabilities of modern



исследовательских работ по этой теме. Так, в настоящее время наметился ряд передовых направлений в попытках создать полностью оптическое устройство аналого-цифрового преобразования без использования электронных преобразований. Также важным направлением исследовательской деятельности становится разработка интеллектуальных методов по обработке выходных сигналов фотонных аналого-цифровых устройств, таких как нейросетевые методы. Как отметил Стариков, лазеры с синхронизацией мод – это сердце любой оптической системы аналого-цифрового преобразования, поэтому их совершенствованию следует уделять особое внимание.

В России работы по созданию аналого-цифровых фотонных устройств для радиотехнических систем были проведены на базе НИЯУ МИФИ и закончились изготовлением системы, которая в своем составе имеет двухканальный фотонный аналого-цифровой преобразователь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из докладов, представленных на научно-практической конференции «Радиофотоника», проходящей в рамках Конгресса российской технологической платформы «Фотоника», сложилось

аналого-цифровые преобразователи были разработаны. На основе этого, основные факторы, ограничивающие возможности аналого-цифровой конверсии, были сформулированы.

Самым важным направлением аналого-цифровой конверсии считается разработка и внедрение фотонных АЦП. В оптике, возможно, оцифровать сигнал со скоростью 10 Тб/с, а также получить высокую точность оцифровки из-за того, что оптические источники имеют низкий уровень фазового шума. В подтверждение вышесказанного, Стариков Р.С. привел примеры нескольких научных статей по этой теме. Таким образом, в настоящее время, ряд перспективных направлений уже очерчен в попытках создать полностью оптическое устройство для аналого-цифровой конверсии без использования электронных преобразований. Также важным направлением исследовательской деятельности является разработка интеллектуальных методов обработки выходных сигналов фотонных аналого-цифровых устройств, таких как нейронные сети. Как отметил Стариков, мод-запертые лазеры являются сердцем любой оптической аналого-цифровой конверсионной системы, поэтому особое внимание должно быть уделено их совершенствованию.

В России, работы по созданию аналого-цифровых фотонных устройств для радиотехнических систем проводились на базе Национального исследовательского ядерного университета МИФИ и завершились изготовлением устройства, которое в своем составе имеет двухканальный фотонный аналого-цифровой преобразователь.



Кристаллы Сибири

e-mail: lira1608@mail.ru
 телефон: +7-903-156-56-11

- Нелинейно-оптические элементы из кристаллов LBO, BBO, KTP, AGS.
- Активные элементы из кристаллов KGW, KYW, активированные Nd и Yb.
- Электро-оптические модуляторы на основе кристаллов BBO, KTP, RTP, RKTP.
- Работаем по международным стандартам, согласно чертежам и техническим требованиям заказчика.
- По просьбе заказчика предоставляем опытные образцы для тестирования.



впечатление, что за последние несколько лет направление радиофотоники в России не претерпело серьезных изменений и прорывных скачков, но интерес к нему планомерно увеличивается. К сожалению, на конференции не было представлено докладов коллективов из АО «ОКБ-Планета», ТУСУРа, АО «НПФ «Микран», ИФП СО РАН и других организаций, поэтому сложившаяся картина оказалась неполной.

Были представлены новые разработки, новые компоненты, технологические и технические решения, однако приходится признать, что многие из них соответствуют уровню зарубежных разработок 5-10 летней давности. Медленное развитие отрасли, как и соответствующе низкие темпы роста рынка высоких технологий в области радиофотоники, – это сложная комплексная задача, не имеющая очевидного и простого решения. Отчасти она обусловлена традиционной консервативностью отечественного рынка, отчасти – сложившейся политико-экономической ситуацией. В таких условиях техническое и технологическое отставание от Запада в этой сфере может оказаться непреодолимым в ближайшие десятилетия. Очевидно, что такая комплексная задача должна решаться не только научно-производственным сообществом. Без действенных административных мер поддержки, направленных на развитие рынка, крупных государственных заказов на сложные наукоемкие высокотехнологичные проекты в области радиофотоники, можно ожидать увеличения технологического отставания. Помимо развития внутреннего и внешнего рынка, также требуется повышение уровня компетенций, углубление и расширение интеграции в самом научно-производственном сообществе. В рамках этого аспекта требуется создание единых многопрофильных дизайн-центров, оснащенных по последнему слову техники и обладающих обширным набором компетенций в области СВЧ-техники, ростовых технологий, волноводной оптики, полупроводников и др. Эти и другие комплексные меры должны обеспечить устойчивое развитие направления радиофотоники в России.

АВТОРЫ

Ким Алексей Андреевич, к. т. н., АО «Лазерные системы», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия.

ORCID: 0000-0002-8923-2953

Губарев Алексей Дмитриевич, АО «Лазерные системы», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия.

ORCID: 0000-0002-4128-085X

a system that includes a two-channel photonic analog-to-digital converter.

CONCLUSION

Based on the reports presented at the scientific-practical conference “Microwave photonics”, held within the framework of the Congress of the Russian technological platform “Photonics”, the impression was formed that over the past few years the direction of microwave photonics in Russia has not undergone major changes and breakthrough leaps, but interest in it is systematic increases. Unfortunately, no reports were presented at the conference by teams from OKB-Planeta JSC, TUSUR, NPF Mikran JSC, IPP SB RAS and other organizations, so the picture turned out to be incomplete.

New developments, new components, technological and technical solutions were presented, but we have to admit that many of them correspond to the level of foreign developments 5-10 years ago. The slow development of the industry, as well as the correspondingly low growth rates of the high-tech market in the field of microwave photonics, is a complex task that does not have an obvious and simple solution. It is partly due to the traditional conservatism of the domestic market, partly due to the current political and economic situation. In such conditions, the technical and technological lag behind the West in this area may turn out to be insurmountable in the coming decades. It is obvious that such a complex task should be solved not only by the research and production community. Without effective administrative support measures aimed at developing the market, large government orders for complex science-intensive high-tech projects in the field of radio photonics, one can expect an increase in technological lag. In addition to the development of the domestic and foreign markets, it also requires an increase in the level of competencies, deepening and expansion of integration in the research and production community itself. As part of this aspect, it is required to create unified multidisciplinary design centers equipped with the latest technology and possessing a wide range of competencies in the field of microwave technology, growth technologies, waveguide optics, semiconductors, etc. These and other comprehensive measures should ensure the sustainable development of the direction of microwave photonics in Russia.

AUTHORS

Alexey A. Kim, Cand. of the Tech. Sc., BSTU «VOENMEH» named after D. F. Ustinov, Laser Systems LLC, St. Petersburg, Russia.

ORCID: 0000-0002-8923-2953

Alexey D. Gubarev, BSTU «VOENMEH» named after D. F. Ustinov, Laser Systems LLC, St. Petersburg, Russia.

ORCID: 0000-0002-4128-085X



ОСНОВАН В 1997 ГОДУ

**РЕГИОНАЛЬНЫЙ
ЦЕНТР
ЛАЗЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

г. Екатеринбург, ул. Фронтовых бригад, 18/11
г. Москва, ул. Большая Почтовая, 22
8-800-550-660-9, +7-(343)-272-30-80
mail@ural-lazer.ru
РЦЛТ.РФ

**Конференция на тему:
«Лазерные технологии при обработке титана
и сталей для ОПК»**

Состоится 24 августа 2021г. с 15:00 в зале С3

**В рамках научно-деловой программы
Международного военно-технического форума «АРМИЯ-2021»
место проведения: КВЦ ПАТРИОТ, павильон С, зал С3**

Наш Стенд 3F3-10

Зарегистрироваться и получить подробную информацию по почте: reklama@ural-lazer.ru

ЗАО «РЦЛТ» – ПРЕДПРИЯТИЕ ПОЛНОГО ЦИКЛА.

Предоставляет весь комплекс услуг по изготовлению крупногабаритных высокоточных конструкций по приемке Заказчика:

- 3D – моделирование;
- разработка рабочей конструкторской документации, создание и согласование оптимальных конструктивных и технологических решений;
- изготовление образцов деталей, сборок, подборок будущего узла, конструкции;
- оптимизация конструкторской документации, под широкий спектр современного промышленного оборудования;
- 3D – лазерная резка геометрически сложных поверхностей деталей;
- 3D – лазерная сварка деталей;
- 3D – лазерная наплавка дополнительных элементов деталей;
- 3D – лазерное термоупрочнение поверхности деталей любой сложности и конфигурации;
- разработка оснастки и стендов для исполнения требований чертежей заказчика и снижения трудоемкости изделий;



Титановая балка
BT-20



Рекуператор шоктеоры



Емкость для юстировочного
стенда РЛЦ BT-1-0.



Лазерная головка
для резки BT-1-0



Несущий подвес радиоприемника



Титановая рама для РЛЦ

Комплексный подход и лазерные технологии в обработке сплавов из титана, алюминия и сталей позволяют нам снизить конечную стоимость изделия до 30%.