



## Радиофотоника. Успехи и ближайшие перспективы

*М.А.Ладугин, д.ф.-м.н., нач. научно-производственного комплекса «Квантовая электроника и радиофотоника» АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стельмаха»,  
Д.А.Фофанов, к.т.н., гл. конструктор ООО «АРЛИ спецтехника»*

Радиофотоника как раздел фотоники, направленный на решение радиотехнических задач с привлечением оптоэлектронных методов обработки и передачи радиосигналов, привлекает стабильный интерес ученых и инженеров по всему миру. Анализ публикаций, проведенный участниками технологической платформы «Фотоника», продемонстрировал тенденции в области радиофотоники, проявившиеся за последнее время, обозначил достижения и ориентиры развития радиофотоники в Российской Федерации в научном, техническом и производственном плане.



### Введение

С начала XXI века силами многих выдающихся российских ученых в рамках мирового тренда прилагались усилия по продвижению, популяризации, освоению производства и подготовке научного и инженерно-технического персонала в области радиофотоники – междисциплинарного направления, объединяющего радиотехнику, оптику, лазерные технологии, микро- и нанoeлектронику.

Технологии радиофотоники используются для решения радиотехнических задач по формированию, передаче и обработке радиосигналов. В основе радиофотонного подхода к решению данных задач лежит идея о переносе исходного радиосигнала в оптическую область путем модуляции оптического излучения, передаче и/или обработке модулированного оптического сигнала с последующей демодуляцией для получения результирующего радиосигнала. При необходимости формирования радиосигнала технологии радиофотоники позволяют сначала создать такой необходимый оптический сигнал, который после демодуляции даст желаемый результат в радиочастотном диапазоне.

Такой подход обеспечивает ряд преимуществ

над классическими радиотехническими системами, среди которых стоит особо отметить



гораздо более широкий диапазон рабочих частот, в том числе повышенная равномерность амплитудно-частотной и линейность фазо-частотной характеристики во всем диапазоне частот, малые потери при передаче сигнала по оптоволоконным кабелям по сравнению с коаксиальными, меньшая масса и большая гибкость кабеля, его невосприимчивость к электромагнитным помехам.

### В номере:

- **Радиофотоника. Успехи и ближайшие перспективы** *М.А.Ладугин, Д.А.Фофанов*
- **ХРОНИКА.** ▶ Нолоехпро-2024
  - ▶ Енисейская фотоника
    - Впечатления участников
- **Приглашения к участию и Конкурсе ЛАС на лучшую разработку 2025**
- **ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ**

Вместе с тем технологии радиофотоники по существу являются аналоговыми, что требует уделять повышенное внимание к качеству и постоянству параметров используемых компонентов во избежание непримемлемых отклонений показателей результирующих систем, а также применять меры по стабилизации параметров окружающей среды. Облегчает решение данной проблемы изготовление компонентов системы в виде фотонной интегральной схемы (ФИС). Вопросами ФИС занимается интегральная фотоника. Успехи в данном направлении позволяют переходить к серийному производству, сокращать себестоимость, улучшать массо-габаритные характеристики изделий, в том числе изделий радиофотоники.

Ввиду своего междисциплинарного характера, а также из-за сосредоточения усилий специалистов в области радиофотоники в первую очередь на решении радиотехнических задач, данное направление образует отдельное технологическое направление, тесно взаимодействующее, но не входящее в состав оптоэлектроники. Для решения задач могут применяться как ФИС, так и компоненты волоконной оптики, и в этом смысле радиофотоника напрямую выигрывает от развития смежных направлений интегральной фотоники и волоконно-оптической техники, будучи потребителем результатов.

Радиофотонный подход уже реализуется на практике, в первую очередь в тех сферах, где преимущества от его внедрения максимальны. Необходимо отметить следующие: радиоэлектронная борьба, причем как радиоразведка, так и радиопротиводействие; радиолокация, в том числе многопозиционная; перспективные системы связи, в особенности 5G+ и 6G; радиоастрономия; метрология и измерительные комплексы. Отмечается интерес со стороны разработчиков из космической отрасли, а также из авиации.

Для определения текущих тенденций развития и выявления самых ярких последних достижений в области радиофотоники был произведен поиск по ключевым словам и анализ публикаций, размещенных в библиотеке IEEE Xplore [1]. Для поиска тенденций был взят период с 2022 по 2024 год, а наиболее актуальные достижения отслеживались по работам текущего года. При этом для поиска в зарубежных публикациях в качестве аналога термина «Радиофотоника» использовался термин «Microwave Photonics».

### Обзор работ и публикаций

Выделим и кратко рассмотрим несколько работ, датированных 2024 годом.

«Радиофотонный смеситель на базе каскадированных микрокольцевых резонаторов в виде фотонной интегральной схемы на основе кремния» [2], Шилонг Пан и др. Предложен сверх-

компактный интегрированный радиофотонный смеситель, использующий каскадные кремниевые микрорезонаторные модуляторы, обеспечивающий широкую полосу пропускания (до 32 ГГц) при сохранении высокой эффективности преобразования до -12 дБ. Согласно экспериментальным результатам, эффективность преобразования нечувствительна к колебаниям радиочастотной мощности и может быть повышена за счет увеличения оптической мощности. Кроме того, характеризуется линейность смесителя, который показывает динамический диапазон без побочных компонентов (SFDR) в 83,8 дБ·Гц<sup>2/3</sup>.

«Линеаризованный радиофотонный смеситель с подавлением зеркального канала за счёт мультиплексирования по поляризации» [3], Шилонг Пан и др. В данной работе осуществляется одновременное преобразование частоты с подавлением боковой полосы и подавление интермодуляционных искажений третьего порядка. Достигается уровень подавления зеркального канала 27 дБ в полосе пропускания 1 ГГц, а также реализован SFDR в 112 дБ·Гц<sup>2/3</sup>.

«Широкополосное перестраиваемое формирование микроволнового сигнала с низкими негармоническими искажениями при помощи двухдиапазонного оптоэлектронного генератора» [4], Юн Лю и др. Демонстрируется подход к формированию широкополосных перестраиваемых когерентных двухчастотных микроволновых сигналов с высокими коэффициентами подавления побочных мод, сверхнизким фазовым шумом и высокой стабильностью на основе двухдиапазонного оптоэлектронного генератора (ОЭГ). Узкая полоса пропускания в совокупности с относительно высоким коэффициентом усиления используется для генерации первоначального колебания с фиксированной частотой в первом диапазоне. При подаче однотонального сигнала в резонатор ОЭГ через микроволновый смеситель возбуждаются частотно-перестраиваемые колебания во втором диапазоне. Затем два колебательных контура синхронизируются по фазе посредством взаимной блокировки смешивания частот. Кроме того, конфигурация с двумя контурами с помощью балансного фотоприемника используется для подавления побочных гармоник и улучшения характеристик фазового шума, что также повышает стабильность генерируемого сигнала. В эксперименте генерируются когерентные двухчастотные микроволновые сигналы с фиксированной частотой 20,0056 ГГц и перестраиваемой частотой в диапазоне от 13,9705 ГГц до 18,0075 ГГц с шагом перестройки частоты 625,6 кГц. Колебания мощности при настройке частоты не превышают 1,5 дБ, а подавление побочных гармоник составляет не менее 77 дБ. Кроме того, девиация Аллана составляет порядка 10<sup>-11</sup> на

интервале 1 с, а фазовый шум не превышает 138 дБн/Гц при отстройке от несущей 10 кГц.

«Оптоэлектронный генератор с активной синхронизацией мод без применения электрооптического модулятора для формирования микроволновых импульсов различного назначения» [5], *Юн Лю и др.* В данной работе предлагается оптоэлектронный генератор с активной синхронизацией мод, основанный на лазерном модуле с непосредственной (прямой) модуляцией без необходимости в каких-либо электрооптических или электрических амплитудных модуляторах. Концепция заключается в том, что лазер с непосредственной (прямой) модуляцией играет тройную роль, являясь источником излучения, модулятором оптического сигнала и активным резонатором с режекцией мод. В работе получены последовательности микроволновых импульсов с гибко настраиваемой частотой следования импульсов. Достигнут уровень фазового шума лучше, чем -118 дБн/Гц при отстройке 10 кГц от несущей 10 ГГц.

«Перестраиваемый радиофотонный фильтр с полосой 46 ГГц с высокой скоростью перестройки» [6], *Хосе Азана и др.* Перестраиваемые фильтры, способные точно обрабатывать нестационарные высокоскоростные микроволновые сигналы, являются фундаментальными компонентами для аппаратуры беспроводной связи, радиолокационных и лидарных систем, передовой метрологии и т.д. На сегодняшний день создание перестраиваемых микроволновых фильтров, обладающих одновременно полностью реконфигурируемой полосой передачи, большой полосой пропускания (> 10 ГГц) и высокой скоростью перестройки (в диапазоне ГГц/с) остается сложной задачей. Этот набор возможностей особенно интересен для применения в сетях 5G / 6G и когнитивных коммуникациях. В последнее время значительные усилия были направлены на разработку микроволновых фильтров с использованием радиофотонного подхода, поскольку было показано, что они обеспечивают широкую рабочую полосу пропускания, высокую скорость настройки и значительную степень гибкости. Однако существующие фильтры по-прежнему не соответствуют полному набору требований, будучи особенно ограниченными в части универсальности и скорости перестройки. В работе предприняты усилия по преодолению существующих ограничений.

«Развитие фотонных интегральных схем для применения в задачах радиофотоники» [7], *Цзяньпин Яо и др.* Интегральная радиофотоника, применяющая фотонные интегральные схемы (PICs) для реализации радиофотонных узлов и систем, интенсивно изучалась в течение последних нескольких лет. В данной работе обсуждается эволюция ФИС для радиофотоники с акцентом на использование

различных материальных платформ.

«Возможности интегральной радиофотоники на основе гибридной платформы InP-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>» [8], *Крис Рулоффзен и др.* В работе описывается гибридная интегрированная платформа для ФИС, в которой объединены материальные платформы TriPleX® на основе Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> со сверхнизкими потерями и InP для обеспечения широкополосной и высокочастотной обработки радиосигналов в оптической области. Платформа состоит из мощного лазера, высокоскоростных модуляторов и детекторов. С использованием данной платформы продемонстрировано создание реконфигурируемых микроволновых фильтров, мультиплексоров и демультимплексоров, формирователей сигнала гетеродина, преобразователей частоты и повторителей.

«Радиофотонный радар с формированием гибко перестраиваемого ЛЧМ сигнала» [9], *Кун Сюй и др.* В этой статье предлагается перестраиваемая многополосная фотонная радиолокационная система с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Система одновременно генерирует сигналы с ЛЧМ в трех частотных диапазонах с двумя разными скоростями. Центральные частоты генерируемых сигналов могут быть легко перестроены из диапазона L в диапазон K. Обнаружение цели в различных частотных диапазонах подтверждено экспериментально с погрешностью измерения дальности менее 2,5 см и разрешением по дальности 3,9 см.

«Интегральный радиофотонный узел обработки сигналов для двухдиапазонного радиолокатора» [10], *Вэйчао Ма и др.* На кремниевой платформе реализована ФИС для применения в радиолокации, способная выполнять обработку с умножением частоты для одновременного формирования широкополосных сигналов в S- и Ku-диапазоне. Кроме того, для уменьшения объема получаемых данных может быть выполнена расширенная обработка двухдиапазонных сигналов, отраженных от цели. Анализ продемонстрировал, динамический диапазон встроенного приемника (SFDR) на уровне 99 дБ·Гц<sup>2/3</sup>. Способность интегрального узла выполнять обработку радиолокационного сигнала продемонстрирована в ходе эксперимента по двухдиапазонному обнаружению объекта. Получено разрешение на уровне нескольких сантиметров, соответствующее теоретическим значениям.

«Фотоника для спутниковых радаров: проект SPACEBEAM» [11], *Лука Ринальди и др.* Представлен анализ конструкции и результаты разработки гибридной ФИС в качестве основного элемента космического радиочастотного приемника для радара с синтезированной апертурой в X-диапазоне, разработанного в рамках проекта H2020 SPACEBEAM. Разработанная система способна на основе принятого сигнала

одновременно синтезировать три сканирующих луча, а также выполнять понижающее преобразование частоты. Вся радиофотонная система разработана с учетом факторов космического пространства и соответствует требованиям целевого применения, что представляет собой шаг вперед к более глубокому внедрению радиофотоники в сложные задачи, таких как наблюдение Земли из космоса.

«Радиочастотный анализатор фазовых шумов на основе радиофотонного преобразования частоты с согласованной задержкой сигнала» [12], *Шилонг Пан и др.* Предложен и экспериментально продемонстрирован широкополосный и высокочувствительный метод измерения микроволнового фазового шума, основанный на преобразовании частоты с согласованной задержкой в радиофотонных трактах. Измеряемый сигнал преобразуется в сигнал на пониженной промежуточной частоте с использованием гетеродина, что расширяет рабочую полосу пропускания за пределы ограничений, присутствующих радиоэлектронным устройствам, не применяющим радиофотонику. Остаточный фазовый шум, вносимый сигналом гетеродина, может быть эффективно подавлен путем согласования временных задержек двух трактов понижающего преобразования частоты, что устраняет необходимость в высокопроизводительном опорном источнике сигнала гетеродина. Предлагаемый радиофотонный метод измерения фазового шума обеспечивает большую рабочую полосу пропускания и более высокую чувствительность по сравнению с традиционным методом, основанным на частотном дискриминаторе. Экспериментальные результаты продемонстрировали точное измерение фазового шума в пределах рабочей полосы пропускания в диапазоне от 10 до 40 ГГц. Высокая чувствительность измерений  $-134$  дБн/Гц при отстройке 10 кГц достигается с помощью применения в трактах одномодового волокна длиной 2 км. Таким образом, предлагаемый подход представляет собой многообещающее решение для измерения широкополосных микроволновых сигналов со сверхнизким фазовым шумом.

В первую очередь необходимо отметить стабильный рост общего числа публикаций, посвященных радиофотонике и проблемам создания соответствующей компонентной базы. В библиотеке IEEE Xplore содержится 843 публикации за 2022 год и 958 за 2023, рост на 14 %. Уже зафиксировано 857 публикаций, датированных текущим годом, при том, что их количество будет расти как минимум до весны 2025 в связи с особенностями размещения информации в библиотеке. Данный факт свидетельствует о неугасающем научном интересе к радиофотонике, а стало быть, и о стабильном финансировании

научных работ со стороны правительств ведущих государств, коими, если судить по месту работы авторов, остаются США, Канада и государства Европы, в особенности Нидерланды. Бурное развитие происходит в КНР.

Всю совокупность значимых публикаций зарубежных авторов за 2024 год можно условно разбить на следующие главные направления:

1. Разработка радиофотонных аналогов существующих компонентов радиочастотного тракта: фильтров, аттенуаторов, смесителей, переключателей и т.д.

2. Моделирование, проектирование, изготовление и тестирование фотонных интегральных схем для самых разнообразных областей применения в радиофотонике.

3. Построение законченных радиотехнических систем, например, радиолокационных станций, на базе радиофотонных технологий.

4. Применение технологий радиофотоники в радиочастотных средствах измерения.

Работы, посвященные сугубо передаче радиосигнала по волокну (Radiofrequency over fiber, RFoF), новым архитектурам трактов передачи и достигнутым характеристикам, несколько отошли на второй план. Возможно предположить, что это связано с переносом внимания научного сообщества от непосредственно линий передачи к системам, в которых эти линии используются.

Второй значимой тенденцией является заметное увеличение публикаций, авторами которых являются лица, так или иначе связанные с Китаем, являющиеся либо выходцами из Китая, прошедшими подготовку в западных университетах, либо сотрудниками научных учреждений КНР, вернувшимися после обучения на родину. Среди данных авторов стоит выделить 4 ключевых персоны: *Цзяньпин Яо (Jianping Yao)* [13], *Шилонг Пан (Shilong Pan)* [14], *Юн Лю (Yong Liu)* [15], *Синлиан Чжан (Xinliang Zhang)* [16].

Совместные работы с научными коллективами данных ученых могли бы быть полезны для развития радиофотоники в Российской Федерации. С использованием ссылок, приведенных в конце, заинтересованные читатели смогут самостоятельно продолжить работу по установлению контактов с лидерами КНР в области радиофотоники.

Подводя итог обзора работ, можно с уверенностью сказать о всё большем проникновении технологий радиофотоники в мир радиотехники, чему немало способствует развитие в области проектирования и изготовления фотонных интегральных схем. В самое ближайшее время ожидается рост публикаций, посвященных испытаниям радиотехнических изделий, построенных на основе радиофотоники, в условиях, максимально приближенных к реальному

применению, на полигонах, в городской среде, на околоземной орбите.

### Работы по радиофотонике в Российской Федерации

Российские ученые также вовлечены в процесс развития технологий радиофотоники и в проработку самых разнообразных вариантов применения.

В АО «НПК «НИИДАР» (ныне – АО «НПОДАР») под руководством *А.Н.Шулунова* (09.12.1937—16.07.2023) создан экспериментальный образец узкополосного локатора X диапазона и показана возможность применения радиофотоники в приемном тракте локатора. ФГБОУ ВО «ЛЭТИ» имеет успех в области оптикоэлектронных генераторов, причем опытные образцы уже выпускаются в партнерстве с Республикой Беларусь. Благодаря профессору *Р.С.Старикову* в результате тесного взаимодействия НИЯУ «МИФИ» с АО «НТЦ «Модуль» в России появился экспериментальный образец радиофотонного АЦП для сигналов X-диапазона. Силами СПбГУ «ЛЭТИ», АО «ОКБ «Планета», и Сколтеха ведутся работы над оптическими фильтрами и резонаторами. АО «Лазерные системы» создают комбинированные радиофотонные измерительно-передающие комплексы, включающие в себя многополосные когерентные РЛС и лидары, а также широкополосные системы передачи и приема цифровых данных для удаленного функционирования. АО «Центр ВОСПИ» провел экспериментальные работы по передаче СВЧ сигнала 10 ГГц на дальность до 10 км, показана необходимость разработки фазостабильных радиофотонных линий.

Разработкой радиофотонной компонентной базы, необходимой для создания перечисленных выше устройств, в Российской Федерации занимается множество коллективов и предприятий. Работу над лазерными модулями ведут АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стедьмаха», Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН, ОКБ «Планета». Разработаны электрооптические модуляторы на ниобате лития для частот до 40 ГГц (ПАО «ПНППК», ФТИ им. Иоффе, ОКБ «Планета»). Созданием фотоприемных модулей занимается АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стедьмаха», ИФП СО РАН, а также коллеги из Республики Беларусь. Над пассивными компонентами работы ведутся в АО «ЗНТЦ», НИУ «МИЭТ», в ФГБОУ ВО «ЛЭТИ» и Сколтехе.

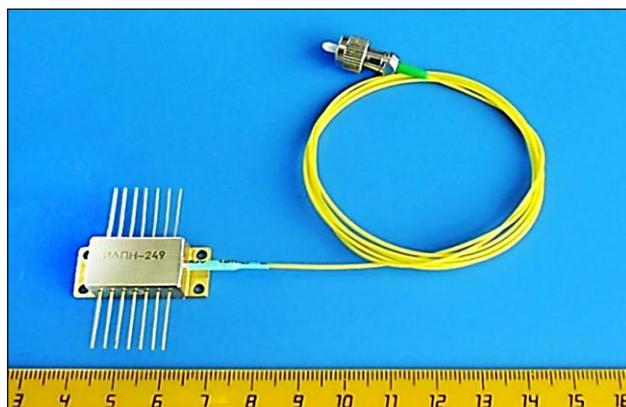
Из значимых достижений необходимо отметить успешное завершение следующих разработок:

- ♦ комплект из оптикоэлектронного малошумящего передающего и приемного модуля для перспективных и модернизируемых ФАР и АФАР различного базирования (АО «НИИ Полюс им. М.Ф. Стедьмаха»);
- ♦ волоконно-оптическая линия задержки в

диапазоне рабочих частот от 0,1 до 12 ГГц (АО «ЦНИТИ «Техномаш-ВОС»);

- ♦ параметрический ряд волоконно-оптических фазовращателей в диапазоне частот от 0,4 до 12 ГГц (АО «ЦНИТИ «Техномаш-ВОС»);
- ♦ одночастотный лазер с распределенной обратной связью мощностью излучения более 50 мВт на длине волны 1550 нм (АО «НИИ Полюс им. М.Ф. Стедьмаха»);
- ♦ оптикоэлектронный модуль СВЧ-диапазона с полосой частот модуляции 0,1–12 ГГц и фототоком при 1 дБ компрессии не менее 26 мА на длине волны 1550 нм (АО «НИИ Полюс им. М.Ф.Стедьмаха»);
- ♦ интегрально-оптический сверхвысокочастотный модулятор на 40 ГГц (ПАО «ПНППК»);
- ♦ параметрический ряд волоконно-оптических аттенуаторов (АО «ЦНИТИ «Техномаш-ВОС»);
- ♦ одночастотный вертикально-излучающий лазер диапазона 1550 нм с полосой прямой токовой модуляции до 20 ГГц для радиофотонных каналов передачи и обработки информации (АО «ОКБ «Планета»).

На одной из этих разработок, полупроводниковом лазере, следует остановиться особо ввиду того, что полупроводниковые лазеры, наряду с модуляторами и фотодетекторами, являются основой любого радиофотонного решения, а также из-за того, что по ряду достигнутых характеристик данная разработка встала в один ряд с лучшими мировыми образцами. В результате проведенной в АО «НИИ Полюс им. М.Ф.Стедьмаха» работы была разработана технология изготовления и освоены в серийном производстве одночастотные лазеры, перспективных к использованию для решения задач радиофотоники и других практических приложений. Создан одночастотный лазерный модуль 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. Внешний вид лазерного модуля ИЛПН-249 показан на **рис.1**.



**Рис.1** Образец одночастотного лазерного модуля 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	$-60 \dots +55$ °С
Температура при транспортировании и хранении	$-60 \dots +60$ °С

Основные характеристики модуля ИЛПН-249 представлены в **табл.1**. Важнейшей характеристикой, на которую хотелось бы обратить внимание, является относительный шум интенсивности (RIN), характеризующий кратковременную (шумовую) нестабильность интенсивности излучения на выходе источника излучения, и вносящий существенный вклад в коэффициент шума радиофотонного тракта передачи сигналов. Для снижения коэффициента шума RIN требуется уменьшать. По показателю RIN данный лазер не уступает абсолютному большинству зарубежных аналогов, обеспечивая также выходную мощность на высоком мировом уровне.

Вне всякого сомнения, отечественным специалистам в области технологий радиофотоники предстоит пройти ещё большой путь и пройти его стремительно для выхода на лучшие показатели по всем критериям. Есть потенциал увеличения диапазона рабочих частот компонентов, дальнейшего увеличения мощности лазеров, снижения оптических потерь. Крайне необходимо расширять номенклатуру всех ключевых компонентов для обеспечения ученых и разработчиков радиофотонных систем всем необходимым. Большой фронт работ остается в области ФИС для радиофотонных применений. В научной части хотелось бы отметить необходимость проведения работ по выбору и обоснованию оптимальных решений для известных и перспективных применений технологий радиофотоники. Самое важное – в том, что исследования и работы в России идут целенаправленно и непрерывно, с четкими, взаимоувязанными между собой целями и задачами.

#### Заключение

Радиофотоника остается одним из ключевых направлений приложения усилий научно-технических специалистов нашей отрасли. Стабильный рост количества авторов и их публикаций свидетельствует об интересе к данному междис-

циплинарному направлению как со стороны ученых, так и со стороны правительств многих стран, обеспечивающих необходимое финансирование. Примечателен рывок, совершенный КНР за последние годы. Российская Федерация уже имеет достойные результаты и прилагает все возможные усилия для сокращения былого отставания, страна активно ведет работы во всех сферах радиофотоники.

#### Использованные источники

- [1]. <https://ieeexplore.ieee.org/>
- [2]. F.Liu, Z.Tang, R.Wu, L.Tang, D.Van Thourhout and S. Pan, «Silicon Integrated Microwave Photonic Mixer Based on Cascaded Microring Resonator Modulators», in IEEE Photonics Technology Letters, vol. 36, no. 5, pp. 333-336, 1 March 1, 2024, doi: 10.1109/LPT.2024.3354725.
- [3]. Z.Zhang, D.Zhu, J Ding, X.Ke, Y.Sun and S.Pan, «Linearized Microwave Photonic Image-Reject Mixer Based On Polarization Multiplexing,» 2024 22<sup>nd</sup> International Conference on Optical Communications and Networks (ICOCN), Harbin, China, 2024, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICOCN63276.2024.10648475.
- [4]. Z.Fu et al., «Wide-Range Tunable Coherent Dual-frequency Microwave Signal Generation with Low Spurious Components in Optoelectronic Oscillator», in Journal of Lightwave Technology, doi: 10.1109/JLT.2024.3410270.
- [5]. Y.Zhang et al., «Actively Mode-Locked Modulator-Free Optoelectronic Oscillator for Multi-Functional Microwave Pulse Generation», in Journal of Lightwave Technology, vol. 42, no. 19, pp. 6760-6766, 1 Oct.1, 2024, doi: 10.1109/JLT.2024. 3413001.
- [6]. X.Zhu, B.Crockett, C.M.L.Rowe, H.Sun and J.Azana, «Time-varying Microwave Photonic Filter over 46-GHz Bandwidth with High Tuning Speed», 2024 IEEE Research and Applications of Photonics in Defense Conference (RAPID), Miramar Beach, FL, USA, 2024, pp. 1-2, doi: 10.1109/RAPID60772.2024.10646985.
- [7]. J. Yao, «Evolution of Photonics Integrated Cir-

cuits for Microwave Photonics Applications», 2024 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR), Incheon, Korea, Republic of, 2024, pp. 1-2, doi: 10.1109/CLEO-PR60912.2024.10676639.

[8]. C.Roeloffzen et al., «Integrated microwave photonic functionalities on a hybrid integrated InP-Si3N4 PIC platform», 2024 24th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Bari, Italy, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICTON62926.2024.10648027.

[9]. J.Yu et al., «Microwave photonic radar with flexible tuning multiband LFM signal generation», 2024 22nd International Conference on Optical Communications and Networks (ICOCN), Harbin, China, 2024, pp. 1-2, doi: 10.1109/ICOCN63276.2024.10648315.

[10]. W.Ma, R.Wang, J.Liu and W.Li, «Integrated Photonic Processing Core for Dual-band Microwave Radar Imaging», 2024 Photonics & Electro-

magnetics Research Symposium (PIERS), Chengdu, China, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/PIERS62282.2024.10618803.

[11]. L.Rinaldi, F.Camponeschi, F.Scotti, V.Gemato, A.Bogoni and P.Ghelfi, «Photonics for satellite radars: the SPACEBEAM project», 2024 24th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Bari, Italy, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICTON62926.2024.10648083.

[12]. P.Zhou, Z.Jiang, Z.Tang, N.Li and S.Pan, «Microwave Phase Noise Analyzer Based on Photonic Delay-Matched Frequency Translation», in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 72, no. 9, pp. 5498-5506, Sept. 2024, doi: 10.1109/TMTT.2024.3366591.

[13]. <https://ieeexplore.ieee.org/author/37280659900>

[14]. <https://ieeexplore.ieee.org/author/37302854500>

[15]. <https://ieeexplore.ieee.org/author/37087154766>

[16]. <https://ieeexplore.ieee.org/author/37310002000>

## ХРОНИКА

### «НОЛОЕХРО 2024»

#### НОЛОЕХРО - 2024

XXI Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям «НОЛОЕХРО 2024» работала 09-13 сентября 2024г. в Казани сразу на двух площадках – в 4-звездочных отелях «Гранд Отель Казань» и «Шаляпин Палас Отель».

Она получила традиционно высокие оценки от её участников и гостей за интересную, содержательную научную программу и комфортную насыщенную социальную программу, способствующую неформальному общению в профессиональном сообществе. По мнению участников конференции, её оргкомитет отлично справился со своей работой и «НОЛОЕХРО 2024» была организована на очень высоком уровне, позволив специалистам в области голографии и прикладных оптических технологий не только ознакомить коллег со своими новыми результатами, но и обменяться опытом, установить полезные контакты.

Конференция проводилась при поддержке ведущих университетов и научно-исследовательских институтов России – МГТУ им. Н.Э.Баумана, Университета ИТМО, МГУ им. М.В.Ломоносова, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Национального ядерного университета «МИФИ», Самарского университета архитектуры и строительства, КНИТУ–КАИ, НТЦ «Оптоэлектроника» Московского Политеха, ТУСУР, ФИАН РАН, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, ИСОИ РАН — филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, ИАиЭ РАН, Института органической химии имени

Н.Н.Ворожцова СО РАН, Оптического общества имени Д.С.Рожественского, АО «ГОИ имени С.И.Вавилова» и др.

#### Спонсоры и партнеры

##### Платиновый спонсор конференции:

АО «НПО «КРИПТЕН».

##### Бронзовые спонсоры конференции:

- ООО «ХолоГрэйт»,
- АО «НТЦ «Атлас»,
- ЗАО «ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНДУСТРИЯ»,

##### Спонсоры:

- ООО «Компания «АЗИМУТ ФОТНИКС».
- ООО «Джеймс Ривер Бранч».

##### Партнеры:

- АО «Компания Славич»,
- ООО «Альянс Оптических Систем»,
- ООО «Активная Фотоника»,
- АО «НПО «ГИПО»,
- ООО «Оптико-голографические приборы»,
- ООО «Лазерный Центр»

##### Информационные партнеры:

- Лазерная ассоциация,
- СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
- Оптическое общество имени Д.С.Рожественского,
- Научно-техническое издание «Оптический журнал»,
- Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э.Баумана,
- Журнал «Мир техники кино»,
- Журнал «Фотоника»,
- Информационный ресурс «Голографика».

##### Организатор конференции:

- ООО «Оптико-голографические приборы».



### Программа конференции

«HOLOEXPO 2024» традиционно объединила для обсуждения передовых исследований, тенденций и проблем отрасли экспертов из академических кругов и голографической промышленности, а также экспертов и ученых по прикладным направлениям оптики и фотоники. В рамках конференции были проведены:

- Круглый стол «№1. AR технологии в жизненном цикле объектов капитального строительства: актуальные вопросы и перспективы».
- Круглый стол «№2. AR технологии в промышленности: тренды и драйверы роста рынка, реальные внедрения и эффекты, перспективы и прогнозы»
- Пленарное заседание «Тенденции развития оптических технологий» (в двух частях).
- Секция 1 «Дифракционные и градиентные оптические элементы и системы»
- Секция 2 «Оптика лазерных пучков и структурированного света»
- Секция 3 «Системы визуализации и отображения информации для AR/VR»
- Секция 4 «Оптические защитные технологии»
- Секция 5 «Интегральная фотоника и оптические коммуникации».
- Секция 6 «Интерферометрия и оптическая метрология»
- Секция 7 «Квантовые оптические технологии»
- Секция 8 «Технологии микро- и наноструктурирования»
- Секция 9 «Цифровая голография и методы визуализации»
- Секция 10 «Современные функциональные оптические материалы»
- Секция 11. Биопотоника
- Секция 12. Новые прикладные оптические технологии
- Секция 13 Оптико-цифровые информационные системы и оптические коммуникации

По итогам выступлений программным комитетом были отобраны лучшие доклады – по 1 из каждой секции из числа устных докладов. Методом общего онлайн-голосования среди этих номинантов был выбран 1 доклад. Набрал большинство голосов и стал победителем в номинации «Лучший устный доклад» – «Разработка, изготовление и исследование инфракрасных интерференционных фильтров для спектрального диапазона от 2 до 30 мкм» авторы: *А.Н.Тропин, Н.А.Тропина*.

Лучший стендовый доклад был определен непосредственно в процессе постерной секции. Каждый из участников должен был проголосовать за понравившийся ему доклад, приклеив голограммный стикер на постер. В результате было выявлено три претендента на победу:

- Секция «Квантовые оптические технологии» – «Эффективное обучение модели фотонного процессора со сложной интерферометрической структурой». *И.В.Кондратьев, К.Н.Урусова, А.С.Аргенчиев, Н.С.Клюшников, С.С.Кузьмин, Н.Н.Скрябин, И.В.Дьяконов, С.С.Страупе, С.П.Кулик*
- Секция «Интегральная фотоника и оптические коммуникации» – «Разработка микро-опто-электромеханического модулятора». *В.С.Галанова, С.С.Святодух., В.В.Ковалюк, Г.Н.Гольцман.*
- Секция «Новые прикладные оптические технологии» – «Конфокальная лазерная микроскопия субдифракционной структуры изобразительных голограмм». *Л.Н.Бородина, Е.В.Рабош, М.А.Волынский, Н.В.Петров, А.В.Вениаминов*

С результатом 9 голографических стикеров победу одержал второй из указанных докладов «Разработка микро-опто-электромеханического модулятора», представленный группой авторов из МИСиС, МПГУ, НИУ ВШЭ и РКЦ.

### Вручение наград

На приветственном коктейле в честь XXI Международной конференции «HOLOEXPO 2024» были вручены награды Оптического общества имени Д.С.Рождественского. Провели церемонию награждения президент Оптического общества *К.В.Дукельский* и председатель Программного комитета HOLOEXPO Science&Practice – *В.Ю.Венедиктов*. В соответствии с совместным решением президиума Оптического общества имени Д.С.Рождественского и Программного комитета международной конференции «HOLOEXPO 2024» почетными дипломами и медалями разного достоинства за различные достижения в голографии, прикладной оптике и фотонике были награждены 12 ученых.

### Демозона

В рамках конференции была проведена демонстрация образцов оптомеханики, оптоэлектронных компонентов и лазерного оборудования. Экспонаты представили АО «Компания

Славич», АО «ЛЛС», АО «НИИ «Гириконд», ООО «Компания «АЗИМУТ Фотоникс», ООО «Активная Фотоника», ООО «Инсайтс Солюшнс», ООО «Специальные Системы. Фотоника», ООО «James River Brunch», Центр фотоники и фотонных технологий Сколтеха.

### Выставка голограмм

Во время конференции была проведена выставка «Мир радужной голографии», посвященная изобретённым *Стивеном Бентоном* радужным голограммам. На выставке были представлены радужные голограммы российских компаний («Криптен», «Атлас», «ХолоГрэйт», Центр компьютерной голографии и др.), белорусской («Голографическая индустрия») и ряда зарубежных компаний (Light Impressions, Applied Holographics, American Banknote Holographics и др.).

### Публикации

- Сборник тезисов. По итогам конференции будет издан сборник тезисов докладов, индексируемый РИНЦ.
- Спецвыпуск «Оптического журнала». После «ХОЛОЭКСПО 2024» будут приниматься статьи в специальный выпуск «Оптического журнала», посвященный конференции. Статья должна представлять собой оригинальную исследовательскую или обзорную работу, оформленную по требованиям издательства. Англоязычная версия «Оптического журнала» издается «Optica» (бывшее OSA) под названием «Journal of Optical Technology» и индексируется в Web of Science и Scopus, квалификация Q3, Q4.

### Итоги

В этом году в конференции приняло участие 258 участников из более чем 20 городов. Стоит отметить существенное увеличение на ней числа молодых ученых и специалистов, многие из которых посетили конференцию впервые. Высокий интерес вызвала онлайн-трансляция конференции, которая по итогам 3 дней мероприятия насчитывала более 1500 просмотров. Обобщая и резюмируя научную часть прошедшей конференции, её участники сформулировали следующие тезисы о направлениях развития прикладной оптики и роли голографии в них:

- В рамках секции «Дифракционные и градиентные оптические элементы и системы» были представлены доклады, охватывавшие широкий спектр направлений – таких как развитие методов расчета эффективности дифракционных элементов в рамках строгой теории дифракции, новые типы рефракционных и дифракционных оптических элементов, ориентированных на решение ряда научных и прикладных задач, разработка оптических систем различного функционального назначения с использованием усовершенствованной элементной базы. Участники отметили высокий уровень и прикладную

ориентированность секции, а также рекордный процент докладов от молодых специалистов и аспирантов. На секции прозвучал интересный и очень полезный для молодежи рассказ проф. *Н.К.Павлычевой* о казанской школе дифракционной оптики и ее вкладе в становление и развитие этого научного и прикладного направления в нашей стране. Очень интересный доклад представил руководитель секции проф. *Г.И.Грейсх*, сопроводив его вызвавшей большой интерес среди молодых участников краткой обзорной лекцией по теме секции.

- Секция «Биофотоника» была впервые представлена на этой конференции, и руководители оценили ее как конкурентоспособную. Были представлены ключевые темы исследований в области биофотоники - такие как оптика биологических тканей, биосенсорика на основе микрофлюидики, фотонных интегральных схем и плазмонных голограмм, мониторинг фотодинамической терапии с использованием голографической микроскопии, когерентнооптическая рефрактометрия и пр. Выступили докладчики «всех категорий» - из крупных научно-исследовательских центров РАН, университетов и компаний. По географии - из США, Москвы, Санкт-Петербурга, Саратова, Сочи, Новосибирска, Владивостока.

- Руководители секции «Интегральная фотоника и оптические коммуникации» отметили широту тематик представленных докладов по всем главным материальным платформам - нитрид кремния, кремний на изоляторе, ниобат лития. Рассматривались как фундаментальные проблемы формирования оптических мод волноводных структур – например, в докладах, посвященных генерации оптических вихрей и вандер-ваальсовым материалам, так и практические технологические вопросы создания материалов и структур (в докладах, посвященных снижению числа дефектов при гибридизации кремниевых волноводов с полупроводниковыми активными элементами и легированию ионами эрбия волновода на основе нитрида кремния). Многие доклады были посвящены разработке интегрально-оптических устройств, выполняющих функции модуляции, фазовой задержки и оптической фильтрации. Порадовало значительное количество экспериментальных работ. Важной тенденцией является практическая ориентированность представленных результатов исследований, во всех работах четко прослеживалась связь с решением конкретной практической задачи.

- На секции «Интерферометрия и оптическая метрология» было отмечено, что уже второй год наблюдается тенденция активизации исследований в области рефрактометрии, а также выделяются новые применения спекл-интерферометров. Наблюдается явный ренессанс в интерферометрии, в т.ч. голографической и связанных

технологиях. Появилось много новых схем. Широкое применение цифровых технологий дает качественно новые возможности. Зарождается новое направление – голографическая томография и микротомография, т.е. синтез трехмерного образа полупрозрачного объекта (например, биологического) на основе цифровой интерферометрической и голографической информации. Целесообразно в рамках следующей конференции HOLOEXPO провести научно-практический семинар или круглый стол по этой проблематике.

➤ Традиционная для конференции секция «Цифровая голография и методы визуализации» показала, что продолжает свое развитие тенденция по автоматизации измерений в области голографической интерферометрии. Эту мысль поддержали приглашенный доклад *В.В.Демина* о формировании изображений частиц, а также доклад *К.А.Ситника*, впоследствии номинированный для участия в конкурсе лучших. В секции были представлены как приглашенные доклады от профессионалов отрасли, так и выступления молодых специалистов. Руководители отметили доклад *И.В.Алексеевко* о двухдлинноволновой цифровой голографической интерферометрии контроля обращенных к плазме защитных элементов токамака «Глобус-М», необходимой для работы уникального по мировым стандартам современного исследовательского комплекса.

➤ Развитие систем виртуальной и дополненной реальности, в большинстве своем основанных на использовании тех или иных голографических технологий, вышло на уровень отдельной отрасли техники и технологии. Ведутся не только активные научные и инженерные проработки, но и работы в области совершенствования технологий, экономики и эргономики. При этом наблюдается очевидный разнобой в терминологии и понятиях. Путаница зачастую усугубляется недобросовестными рекламными и маркетинговыми лозунгами. Необходима выработка единой терминологии и глоссария, а затем, вероятно, и государственного стандарта – это общее мнение участников конференции.

➤ Тематика секции №10 в этом году была расширена: если раньше она затрагивала только фоточувствительные материалы, то сейчас – функциональные материалы (преимуществом сохранена – буква «ф»). Поэтому увеличилось число докладов. К традиционному направлению прибавились новые: материалы для импринтинга для AR устройств, серебряные пленки для датчиков, основанных на усилении рамановского рассеяния (SERS датчики) и фотокатализаторов.

Все 12 докладов на заседании секции были сделаны на высоком уровне, в том числе и 4 пред-

ставленных молодыми специалистами.

➤ Были представлены оптические технологии и оригинальные схмотехнические решения, базирующиеся на синтезе методов из различных оптических направлений, например, изготовление оптических узлов, контроль диффузно-отражающих объектов, детектирование, голографические технологии и др.

➤ Также был представлен ряд перспективных исследований в области применения 4f-коррелятора для задач аппаратной реализации методов ИИ, многослойных дифракционных нейронных сетей, информационных систем на основе терагерцового излучения и радиофотонных систем. Озвучен ряд новых подходов в этих областях, представлены оригинальные результаты. Доклады представляли ведущие специалисты в области разработки оптоэлектронных информационных систем, доктора и кандидаты наук, а также аспиранты. Особенно запомнились ряд работ по исследованию дифракционных нейронных сетей – сравнительно молодой и бурно развивающейся тематике.

➤ В области защитной голографии сегодня существенное внимание уделяется способам расчета сложных поверхностей на массивах плоских линз, равно как френелевским поверхностям, формирующим объемное изображение, а также методам микро- и наноструктурирования, которые позволяют в комбинации с многослойным напылением создавать целые классы новых защитных элементов. Не теряет своей актуальности наноплазмоника и комбинированные защитные элементы – как по способу изготовления и применению различных технологий, так и по формируемым визуальным признакам и эффектам. При этом очевидно, что отечественным компаниям необходимо преодолевать значительное технологическое отставание от передовых производителей таких изделий, предлагающих их на мировом рынке, преодолевать развитием собственной технико-технологической базы, а также более эффективным использованием имеющейся производственной базы и научного потенциала, ускоренным внедрением собственных новых разработок.

➤ В рамках конференции «HOLOEXPO 2024» были весьма успешно проведены секции, посвященные проблематике квантовой оптики и т.н. структурированному свету. Все участники были едины в том, что объединение этих тем с классической голографией является научно обоснованным и весьма продуктивным. Все три области науки сильно переплетаются и взаимно обогащают друг друга. Так, например, особенно ясно проступила глубинная физическая и даже философская общность корней голографической памяти и квантовой памяти.

В рамках конференции «HOLOEXPO 2024»

первые два дня научной программы открывали пленарные заседания «Тенденции развития оптических технологий», где выступили ведущие ученые отрасли. Все доклады вызвали колоссальный интерес со стороны как опытных научных специалистов, так и специалистов, чей путь в науке только начинается.

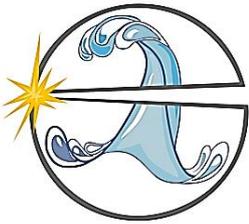
На закрытии конференции и торжественном ужине в честь XXI Международной конференции «ХОЛОЭКСПО 2024» были вручены памятные

подарки и дипломы спонсорам конференции, дипломы постоянным участникам, организаторам разных лет и участникам, внёсшим существенный личный вклад в развитие и организацию конференции, а также всем членам Программного комитета.

*В.Ю.Венедиктов, СПб ГЭТУ «ЛЭТИ»,  
Председатель Программного комитета,  
А.В.Смирнов, АО «Криптен»,  
Председатель Организационного комитета*

★ ★ ★

## «Енисейская фотоника – 2024»



В Красноярске на базе Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского университета 16-24 сентября прошла III Всероссийская научная конференция с международным участием «Енисейская фотоника – 2024». Её участниками стали учёные, аспиранты и студенты из 20 регионов РФ, а также из Республики Беларусь и Китая. На пленарных и секционных заседаниях прозвучало в общей сложности около 230 устных докладов по следующим направлениям:

- Новые оптические материалы
- Фотонные кристаллы, метаматериалы и топологические фазы
- Биофотоника
- Креативные индустрии фотоники
- Квантовые коммуникации
- Искусственный интеллект в фотонике.

Эта конференция очень молодая, она проводилась всего в третий раз. Её концепция была сформирована коллективом сотрудников Сибирского федерального университета и Института физики им. Л.В.Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН как ответ на современные вызовы, стоящие перед российскими учеными и учебно-научными организациями. Эти вызовы требуют ускоренной подготовки молодого поколения в области оптики и фотоники, а также, создания вертикальных и горизонтальных связей между учеными всей страны. Большинство серьезных научных конференций проводятся в статусе международных, что в совокупности с уменьшением финансирования со стороны грантовых фондов в России приводит к серьезному увеличению стоимости участия в них. С другой стороны, студенческие конференции не обладают необходимым статусом для привлечения большого числа состоявшихся ученых. Вышесказанное является серьезным препятствием для передачи опыта и обмена научными достижениями между молоды-

ми учеными и признанными специалистами.

Подход, изначально использовавшийся при организации конференции «Енисейская фотоника – 2024», включает в себя сохранение доступного организационного взноса для участников, наличие большого числа приглашенных докладов и присутствие около 2/3 молодых ученых на каждой из секций. Подключение коллектива НОЦ ФиОИ Университета ИТМО с их идеей конференции-побратима «Невской фотоники» и их активное участие в организации прошедшей конференции «Енисейская фотоника – 2024» привело к серьезному повышению статуса обеих этих конференций.

Участники «Енисейской фотоники» в этом году смогли убедиться в высочайшем уровне исследований, проводящихся в области фотоники и её применений. Об этом свидетельствовало и качество докладов, и квалификация участников. Участие в конференции стало не только плодотворным времяпрепровождением, но и помогло созданию новых коллабораций.

Пленарные доклады на темы квантовых точек, нанофотоники и квантовых вычислений по праву можно считать самыми обсуждаемыми. Секции биофотоники и ИИ в фотонике были наиболее популярными, их участники не всегда помещались в аудиториях (а в каждой аудитории было более 50 мест). При этом жаркие обсуждения возникали практически после каждого



доклада на всех секциях, а некоторые вопросы обсуждались и на кофе-брейках.

Стоит отметить активное участие в конференции молодежи и промышленных партнеров (представителей оптической индустрии). По мнению организаторов, «Енисейскую фотонику-2024» можно уверенно считать современной отлично организованной научной конференцией. Большой интерес к обсуждавшимся вопросам явно свидетельствует о том, что конференции

по данной тематике будут проводиться и в дальнейшем. Уже 13-17 октября 2025 года состоится конференция «Невская фотоника – 2025», а в сентябре 2026 года «Енисейская фотоника – 2026». Эти конференции с нетерпением ждут своих участников. Подробная информация о проведении конференции «Невская фотоника – 2025» – на сайте <https://nevphoton.ru>.

*А.Н.Цыпкин, д.ф.-м.н., директор НОЦ ФиОИ  
Университета ИТМО*

### «Енисейская фотоника – 2024» – впечатления участника



*В программу конференции «Енисейская фотоника» традиционно были включены лекции ведущих российских учёных, доклады научных сотрудников разных организаций страны, выступления студентов и аспирантов. На пленарных и секционных заседаниях обсуждались передовые достижения и новые научные результаты в области новых оптических материалов, квантовых коммуникаций, когерентной и нелинейной оптики, фотонных кристаллов, биофотоники и использования в фотонике методов искусственного интеллекта. Конференцию во многом можно считать молодежной: две трети участников из общего числа примерно в 300 человек были в возрасте до 35 лет. Однако большое число выступавших студентов и аспирантов с устными докладами, по мнению автора этих строк, было и определенным минусом конференции. Более правильно, видимо, для начинающих научных работников формировать отдельные заседания и подсекции в рамках общих тематических секций, т.к. ситуации, когда докладчик на заседании секции с устными докладами забывает заученный текст доклада и просит коллег из зала подсказать, что дальше говорить, не отвечает на вопросы об актуальности, новизне и/или цели исследований, несколько разочаровывали опытных ученых, приехавших на серьезное мероприятие.*

*На контрасте. Большое впечатление произвели доклады ведущих ученых страны в области фотоники. Ими были представлены 3 пленарных (по 40 минут) и 36 приглашенных (по 30 минут) докладов. В частности, высочайшего научного уровня прозвучал доклад «Оптические квантовые вычисления» Станислава Сергеевича Страупе, старшего научного сотрудника Центра квантовых технологий МГУ им. М.В.Ломоносова и научного руководителя Центра квантовых технологий Сбербанка. В докладе были раскрыты не только основные принципы линейно-оптических квантовых вычислений, но и технологические ограничения на их реализацию в реальных квантовых компьютерах. В частности, не так часто обращается внимание на тот факт, что в отличие от обычных сегодня микроэлектронных технологий с размерами элементов микросхем порядка 100 нм, оптические квантовые вычисления выполняются в ближнем ИК диапазоне спектра, что для оптических элементов требует размеров порядка 1 микрона и более. А это на порядок увеличивает габариты устройств по сравнению с микроэлектроникой. Кроме того, ввод и вывод информации также производится сегодня на основе обычных электронных дисплеев, клавиатур и пр. Поэтому в ближайшей перспективе не идет речь о квантовых компьютерах как обособленных устройствах, но можно говорить об отдельных дополнительных процессорах (ядрах процессоров) для специализированных вычислений на основе квантовых технологий внутри привычного нам «электронного» компьютера.*

*В секции биофотоники, которую, главным образом, и посещал автор этих строк, наиболее сильные доклады были сделаны группой проф. А.В.Приезжева из МГУ им. М.В.Ломоносова и группой проф. Д.А.Горина из Сколковского института науки и технологий. Неплохие доклады также прозвучали и от Красноярского научного центра СО РАН, от Самарского госуниверситета, из Института автоматики и электрометрии СО РАН. В целом, в докладах были озвучены практически все основные направления биофотоники – от медицинской неинвазивной диагностики (флуоресцентная спектроскопия, оптоакустическая томография, оптическая оксиметрия) до фундаментальных научных исследований оптических свойств бактерий, белков, коллагена, пористого кремния, а также других органических и неорганических природных и искусственных материалов и веществ, потенциально относящихся к биологии и медицине.*

*Д.А.Рогаткин, д.т.н., зав. лаб. МОНИКИ,  
член Коллегии национальных экспертов СНГ по лазерам и лазерным технологиям,*

**«Енисейская фотоника – 2024» – впечатления участника**

*Конференция в Красноярске оставила самые приятные впечатления и воспоминания. Красноярцы несколько иронично говорят о том, что их замечательный город – самый восточный город-миллионник в России. Ирония иронией, но на самом деле конференция была организована на самом высоком уровне и по самым высоким стандартам, безо всяких скидок на географическую удаленность.*

*Автор этих строк с учетом своих научных интересов в основном принимал участие в заседаниях секции «Когерентная оптика и нелинейная фотоника». Прошло девять двухчасовых заседаний, заслушано около полусотни устных докладов (плюс много стендовых), почти все заявленные доклады состоялись. Конечно, уровень был разным, но случайных или откровенно слабых работ не было. Все приглашенные докладчики вполне соответствовали своему статусу. Научная молодежь – а были представлены отнюдь не только местные, сибирские университеты и институты, но и много талантливых ребят из европейской части страны – тоже старалась.*

*Говоря об организационной стороне дела, нельзя не порадоваться за СФУ и по-хорошему позавидовать сибирскому размаху и богатству. Автор этих строк бывал во многих российских университетах и научных центрах, но впервые на Родине попал в настоящий полноценный университетский кампус, удовлетворяющий самым высоким мировым стандартам. Обширный студенческий городок, с развитой системой общепита, с хорошими общежитиями. Многие «взрослые» участники конференции жили в общежитиях и остались вполне довольны уровнем комфорта. Ну, и самое главное – великолепный конгресс-центр с налаженной и гибкой системой организации и проведения научных мероприятий, что очевидным образом облегчает работу организаторов.*

*Напоследок нельзя не остановиться на интересной и новой для России практике партнерства двух конференций. Как известно, с 2023г. принято решение о чередовании - в четные годы конференция «Енисейская фотоника» в Красноярске, а в нечетные – «Невская фотоника» в Санкт-Петербурге. Идея представляется весьма плодотворной и перспективной. Надеюсь, конференция «Невская фотоника – 2025», намеченная на октябрь 2025г., окончательно подтвердит жизнеспособность этого партнерства.*

***В.Ю.Венедиктов**, д.ф.-м.н., профессор Университета ЛЭТИ,  
член Коллегии национальных экспертов СНГ по лазерам и лазерным технологиям,*

**ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ****Китай объявил о прорыве  
в кремниевой фотонике для полупроводников**

*Китайский институт JFS успешно интегрировал лазерный источник света с кремниевым чипом. Это открытие может помочь Китаю преодолеть барьеры в производстве микросхем и снизить зависимость от импорта в условиях американских санкций.*

**К**итай заявил о значительном прорыве в области кремниевой фотоники — технологии, которая может кардинально изменить производство полупроводников. Лаборатория JFS, находящаяся в Ухане и получившая государственное финансирование в размере 8,2 млрд юаней (около \$1,2 млрд), впервые успешно объединила лазерный источник света с кремниевым чипом. Это достижение, как сообщают китайские СМИ, позволит Китаю преодолеть существующие технические барьеры и достичь независимости в условиях санкций США, направленных на ограничение доступа страны к современным чипам. Новая технология использует оптические сигналы для передачи данных, что значительно превосходит традиционные чипы, основанные на электрических сигналах. Этот подход откроет путь к созданию более быстрых и мощных микросхем, которые можно будет использовать для работы с большими данными, графикой и искусственным интеллектом.

Интерес к кремниевой фотонике проявляют не только в Китае. Такие гиганты, как TSMC, Nvidia, Intel и Huawei, активно инвестируют в развитие этой технологии. По данным SEMI, мировой рынок кремниевых фотонных чипов к 2030 году вырастет до \$7,86 млрд, по сравнению с \$1,26 млрд в 2022г.

Для Китая кремниевая фотоника имеет особое значение, так как для производства фотонных чипов не требуются установки экстремальной ультрафиолетовой литографии (EUV), на которые США наложили экспортные ограничения. «Кремниевые фотонные чипы можно производить внутри страны, используя зрелые технологии и материалы», — отметил Суй Цзюнь, президент пекинского стартапа Sintone.

Эксперты прогнозируют, что кремниевая фотоника станет ключевой технологией в будущем соперничестве США и Китая за лидерство в полупроводниковой отрасли.

<https://hightech.fm/2024/10/08/china-sil>

## **Конкурс ЛАС на лучшую разработку 2025**

### **Объявляется прием заявок на конкурс Лазерной ассоциации на лучшую отечественную разработку в области фотоники**

*Конкурс ЛАС проводится ежегодно с целью выявления и популяризации лучших отечественных разработок и изданий в области лазерной техники и оптоэлектроники, устройств, оборудования и технологий на их основе, продвижения лучших разработок на межотраслевые конкурсы и премии.*

***На конкурс принимаются завершённые разработки, вышедшие на рынок в 2023-2024гг.***

#### **Конкурс проводится по следующим номинациям:**

- ▶ ***«Источники лазерного излучения и их компоненты, устройства управления излучением и его транспортировки»***  
(конкурс имени М.Ф.Стельмаха)
  - источники излучения
  - узлы и компоненты лазерной аппаратуры
  - лазерная оптика
- ▶ ***«Лазерное оборудование для промышленности и энергетики»***
  - лазерная макро- и микрообработка материалов и изделий
  - лазерная очистка, сепарирование
  - солнечная энергетика, фотовольтаика
  - метрологическое обеспечение лазерной техники
- ▶ ***«Информационно-управленческие технологии и реализующие их системы фотоники»***
  - техническое зрение, оборудование фотоники для технических измерений и диагностики
  - приёмники излучения, оптическая сенсорика
  - фотоника в навигации и геодезии
  - оптико-электронные модули, узлы и системы
- ▶ ***«Оптическая связь и фотонная информатика»***
  - ВОЛС и их комплектующие, связь по открытому лучу
  - радиофотоника, интегральная фотоника
  - отображение информации
  - квантовые технологии
- ▶ ***«Фотоника в медицине, включая ветеринарную»***  
(конкурс имени О.К.Скобелкина)
- ▶ ***«Фотоника в сельском хозяйстве и природопользовании»***
- ▶ ***«Информационные материалы и лабораторное оборудование»***
  - монографии, учебные пособия, справочные и научно-популярные издания лазерной тематики
  - оборудование для реализации образовательных программ

**Заявки принимаются до 31 января 2025г.**

**При заполнении формы заявки необходимо указать:**

- номинацию
- полное название разработки
- название организации, которая выдвигает разработку на конкурс
- ее авторский коллектив (ФИО, место работы и должность каждого на момент выдвижения)
- назначение разработки, области её применения
- основные технические характеристики разработки, её принципиальные отличия от имеющихся аналогов (необходимо приложить проспект изделия или информационный лист - если выдвигается технология)
- наличие разрешения на использование, если это требуется (например, для медицинской или метрологической аппаратуры)
- дата вывода разработки на рынок и способ, которым это было сделано
- контактное лицо, телефон и e-mail для связи с ним

К заявке должно быть приложено представление разработки в формате статьи в «Лазер-Информе», рассказывающее о выдвигаемой разработке, её назначении, параметрах и особенностях, локализации производства комплектующих узлов и компонентов, опыте её практического использования, о её отличиях от аналогов.

***Заявку на участие в конкурсе можно подать, заполнив форму на сайте ЛАС ([www.cislaser.com](http://www.cislaser.com)), либо прислав заполненную форму на эл. почту ЛАС (форму заявки можно найти на сайте ЛАС).***

***Заявка должна направляться в Секретариат ЛАС с сопроводительным письмом от выдвигающей организации.***

*Экспертизу заявок будут проводить эксперты профильных рабочих групп технологической платформы «Фотоника», координатором которой является Лазерная ассоциация.*

**Итоги конкурса**

**будут подведены Научно-техническим советом ЛАС в марте 2025г., награждение победителей состоится на выставке «Фотоника-2025».**

**ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ****Создана основа для фотонных интегральных схем на базе микродисковых лазеров**

*Физики совершили открытие при изучении возможностей практического применения микродисковых лазеров на базе арсенида галлия*

**Р**оссийские физики разработали подход, позволяющий выращивать микродисковые лазеры на базе арсенидных квантовых точек, волноводы и фотодетекторы в одних и тех же тонкопленочных структурах. Это открывает дорогу для создания компактных фотонных интегральных схем, сообщила пресс-служба НИУ ВШЭ.

*«Микродисковые лазеры – уникальные оптоэлектронные приборы. При размере, сравнимом*

*с диаметром нити паутины, они могут выдавать достаточно большую оптическую мощность. Мы показали, что все необходимые для фотонной интегральной схемы оптоэлектронные компоненты – микродисковый лазер, волновод и фотодетектор – могут быть изготовлены на одной основе», – пояснила профессор НИУ ВШЭ (Санкт-Петербург) Наталья Крыжановская, чьи слова приводит пресс-служба ВУЗа.*

Физики совершили это открытие при изучении возможностей практического применения так называемых микродисковых лазеров на базе арсенида галлия. Они представляют собой микроскопические кольца-резонаторы диаметром в несколько десятков микрометров, в работе которых используется эффект шепчущих галерей, секрет которых известен человечеству еще со времен Средневековья.

Несколько лет назад ученые разработали подход, который позволяет использовать этот эффект для создания миниатюрных генераторов лазерного излучения. Их использование на практике требует «подключить» подобный излучатель к волноводу, который позволяет контролируемым образом выводить частицы света из шепчущей галереи и направлять его в другие части фотонной интегральной схеме.

Для решения этой задачи российские физики

разработали подход, который позволяет выращивать микродисковые лазеры, подключенные к ним световоды и датчики излучения внутри одних и тех же тонких пленок, состоящих из полупроводниковых материалов на базе арсенида галлия и соединения алюминия, галлия и мышьяка, а также квантовых точек на базе индия. Использование этих наноструктур позволило ученым повысить мощность лазера и уменьшить нагрев устройства.

Проведенные учеными опыты показали, что их подход позволяет уменьшить размер лазера до 30-40 мкм, а фотодетекторов – до 90 мкм. В перспективе это позволяет создавать очень компактные и энергоэффективные фотонные интегральные схемы, что ускорит передачу данных и сделает вычислительные устройства более компактными и экономичными, подытожили физики.

<https://nauka.tass.ru/nauka/22019905>

★ ★ ★

## **В России пойдут в серию суверенные лазеры для производства процессоров**

*После 2026 года в России начнется сравнительно крупное производство лазеров для литографии, которые будут использоваться для выпуска микросхем.*

*Планируется сборка как минимум пяти таких лазеров в год. Разработка идет полным ходом – тестовые испытания в составе литографа назначены на 2025 год.*

### **Российское производство полупроводников оживает**

В России будет организовано производство отечественных эксимерных лазеров для литографии, то есть для производства микросхем, сообщил CNews замминистра промышленности и торговли России *Василий Шпак*. По его словам, до начала их выпуска остается сравнительно немного времени – «после 2026г.» с конвейера будут сходиться не менее пяти таких лазеров в год. За разработку лазера отвечает компания «Лассард».

Важно отметить, что *Шпак* не стал раскрывать более конкретные сроки начала производства или хотя бы диапазон лет, в течение которых стоит ожидать его. В то же время он сообщил, что уже в 2025г. начнутся тестовые испытания лазера.

Проводить тестирование будут сотрудники «Зеленоградского нанотехнологического центра» (ЗНТЦ), а сам лазер будет использоваться в составе литографа, первоначально рассчитанного на топологию 350 нм. Новый лазер «прокачает» его до 130 нм. Для сравнения, самый современный техпроцесс, по которому в 2024г. производятся различные микросхемы, в том числе и центральные процессоры – это 3 нм. Эти нормы используются на фабриках TSMC для производства чипов Apple.

По словам *Шпака*, потенциальные заказчики



*Василий Шпак на демонстрации опытного образца лазера в ГК «Лассард».*

на литографы с лазером разработки «Лассарда» уже имеются. Весь перечень заинтересованных в их приобретении компаний замминистра Минпромторга не раскрыл, отметив лишь, что среди них есть «Микрон» – крупный российский производитель полупроводников, называющий себя «чипмейкером №1 в России».

### **Для чего это нужно**

К 26 сентября 2024г. у компании «Лассард» были готовы опытные образцы эксимерного лазера. По словам *Василия Шпака*, наличие в стране такого рода устройства «*позволяет говорить о том*», что Россия в настоящее время «*все ближе к производству литографов на 130*

нм». Замминистра Минпромторга добавил также, что непосредственно сам литограф «появится в 2026г.».

*Шпак* также подчеркнул, что лазер позволит в будущем освоить и 90-нанометровое производство. «Лазер дает возможность модифицировать характеристики в сторону более тонкой топологии. Более того, скажу, что мы уже ведем работу на перспективу, разрабатывая материалы и заказывая работы для установок 90 нм и 65 нм», – добавил он.

### Первый российский литограф

Как пишет ТАСС, *Василий Шпак* называет литограф, в составе которого будет тестироваться лазер «Лассарда», «первым российским фотолитографом». В своем оригинальном исполнении он предназначен для выпуска чипов по топологии 350 нм. Это не самый современный техпроцесс – пик его актуальности пришелся на 1995-1996гг.

«Чипы размером 350 нанометров хоть и считаются большемерными чипами, но до сих пор используются во многих отраслях, в том числе в автопроме, энергетике и телекоммуникациях», – пишет ТАСС.

На сайте Zelenograd.ru указано, что российский 350-нанометровый литограф весит 3,5 тонны и имеет габариты 200x260x250 см (размеры оптико-механического устройства и объектива лазера с рабочей длиной волны 365 нм в сумме). Лазер «Лассарда» позволит переделать литограф из 350-нанометрового в 130-нанометровый.

### Кто за этим стоит

По словам *Василия Шпака*, «Лассард» будет работать в связке с ЗНТЦ, где первый является непосредственным разработчиком лазера, а второй – «поставщиком технологии». Именно ЗНТЦ «будет осуществлять реализацию литографической установки», добавил *Шпак*.

Компания ООО «Лассард» основана в апреле 2015г. и имеет уставный капитал около 3,05 млн руб. Основной вид деятельности – «научные исследования и разработки в области естественных и технических наук прочие» – (код ОКВЭД 72.19), дополнительных видов деятельности – 19. Среди них «аренда и лизинг двигателей, турбин и станков» (77.39.21), «обработка металлов и нанесение покрытий на металлы» (25.61) и «обработка металлических изделий механическая» (25.62).

К моменту выпуска материала информация об

учредителях компании была засекречена. Известно лишь, что в июле 2022г. ее 72,5-процентная доля принадлежала АО «Инвестиционная Компания Вартон», гендиректором которой является *Илья Сивцев*, также занимающий аналогичную должность в ПАО «Группа Астра». С декабря 2015-го по июль 2022г. *Сивцев* лично входил в состав учредителей «Лассарда» – он удерживал долю 7,5%, у *Дениса Фролова* было 65%, у *Игоря Корнеенкова* – 27,5%. Все трое вышли из числа совладельцев 8 июля 2022г.

Также стоит отметить, что компания в последние годы не публикует финансовую отчетность. Последняя имеющаяся в открытом доступе информация датирована 2021г. – по итогам этого года выручка «Лассарда» составила 1 млрд руб., просев на 34% год к году. Чистая прибыль достигла 127,4 млн руб. (данные «Контур.Фокуса»). Имя генерального директора тоже скрыто.

ЗНТЦ – это АО «Зеленоградский Нанотехнологический Центр», образованное в июле 2010г. Держатель реестра акционеров – АО «Независимая Регистраторская Компания Р.О.С.Т.», генеральный директор – *Анатолий Ковалев*.

Основной вид деятельности – «научные исследования и разработки в области естественных и технических наук прочие» (72.19), дополнительных видов – 20: «деятельность рекламная» (73.1), «деятельность в области фотографии» (74.20), «деятельность по письменному и устному переводу» (74.30), «деятельность по упаковыванию товаров» 82.92 и пр.

Как и в случае с «Лассардом», актуальная информация о финансах ЗНТЦ скрыта. В 2021г. компания показала 171-процентный рост выручки год к году до 933,3 млн руб. и получила чистую прибыль на уровне 142,8 млн.

### В тройке лидеров

К моменту публикации материала производство лазеров для литографов в России не существовало в принципе. *Василий Шпак* подчеркнул, что к концу 2024г. их выпуском занимались всего лишь две компании в мире – японская GigaPhoton и американская Сумер.

Другими словами, у России есть шансы стать третьей страной в мире, где налажено подобное производство. Вопрос теперь лишь в том, когда именно «после 2026г.» заработает линия по их сборке.

[https://www.cnews.ru/news/top/2024-09-26\\_sanktsii\\_zapada\\_dali\\_treshchinu?ysclid=m2dk6nksxs628039048](https://www.cnews.ru/news/top/2024-09-26_sanktsii_zapada_dali_treshchinu?ysclid=m2dk6nksxs628039048)

★ ★ ★

## Как был создан невозможный синий светодиод

Экран, на котором вы сейчас читаете этот текст, скорее всего освещается белыми светодиодами. Энергосберегающая лампа в вашей комнате, экраны-билборды на главной улице города, фары вашего автомобиля... Светодиодная технология изменила этот мир.

Точнее, мир изменила технология синего светодиода, который еще в конце прошлого века представлялся чем-то почти недостижимым. Это история об изобретении, стоящем миллиарды, и изобретателе, который получил за патент всего \$170.

Всем нам знакома лампочка — универсальный символ пришедшей в голову идеи. Разработанная в середине XIX в. лампа накаливания заменила собой свечи, ярким светом залила улицы городов мира. Эта технология на самом деле крайне неэффективна. Работает такая лампа следующим образом: через вольфрамовую нить внутри запаянной колбы проходит электрический ток, нагревая ее до такой степени, что она начинает светиться. Только малая часть потраченной энергии действительно дает свет, остальной ток уходит в тепло.

В светодиоде же большая часть энергии электричества направлена именно на создание света. В сердце технологии находятся полупроводники, которые начинают обмениваться электронами при воздействии на них тока. Представьте себе два корабля. На одном из них пассажиры — это атомы кремния с примесью атомов фосфора, а на другом — кремний с примесью бора. Из-за особенностей этих химических элементов на одном из кораблей пассажиры носят положительный заряд, а на другом — отрицательный.

При подаче тока пассажиры начинают перепрыгивать с корабля на корабль, и подобный переход выделяет фотон, то есть свет, цвет которого определяется расстоянием между «кораблями». Чем оно меньше, тем дальше в инфракрасное излучение уходит свет, чем больше — тем ближе к ультрафиолету мы оказываемся.

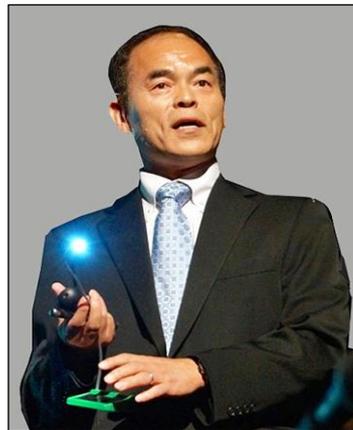
Теперь довольно легко понять, почему первые практически применимые светодиоды, которые разработал американец Ник Холоньяк из Иллинойского университета в Эрбане — Шампейне в 1962г., имели красный свет свечения. Сделать такой светодиод проще всего, поскольку между материалами-«кораблями», с которых будут перепрыгивать заряды-«пассажиры», расстояние крайне маленькое. Чуть сложнее было создать зеленый светодиод, еще какая-то часть усилий ушла на то, чтобы диоды были яркими, а потом ученые «уперлись в стену» на десятилетия.

Красный, оранжевый, желтый, зеленый — чем дальше по спектру, тем сложнее было заставить заряды «перепрыгивать с корабля на корабль». А ведь синий светодиод должен был стать определяющим для индустрии. Почему? Все просто: объединив красный, зеленый и синий светодиоды, можно получить любой другой цвет, включая белый. Без синего цвета эта технология была бы обречена вечно использоваться разве что в индикаторах.

В 1971г. американский инженер Жак Панков в лаборатории компании Radio Corporation of

America (RCA) получил синее свечение. Но технология была дорогой, а светодиод тусклым и в промышленном смысле совершенно нерентабельным. Зато ученые по всему миру выяснили требование к материалу, без которого синий светодиод был бы невозможен — особая чистота кристалла, без дефектов. Вырастить такую не удавалось никому.

Сюдзи Накамура был исследователем в небольшой японской химической компании Nichia в полупроводниковом подразделении, которое занималось производством материалов для красных и зеленых светодиодов. К концу 1980-х годов подразделение находилось в упадке, оно конкурировало с гораздо более устоявшимися компаниями на переполненном рынке и проигрывало. Накамура долгое время пытался разрабатывать новые продукты, которые руководство считало пустой тратой денег, но в 1988г. ему все же удалось убедить президента компании Нобуо Огаву дать ему последний шанс — он рассчитывал создать синий светодиод.



Первым шагом Накамуры на пути исследования стала поездка в США. У японца был там товарищ, чья лаборатория начала использовать новую технологию изготовления кристаллов, называемую MOCVD. Реактор MOCVD, по сути, гигантская печь, был и остается лучшим способом массового производства чистых кристаллов. Он работает путем впрыскивания молекул пара кристалла в горячую камеру, где они вступают в реакцию с базовым материалом, называемым подложкой, для формирования слоев.

Накамура присоединился к лаборатории на год, чтобы освоить MOCVD. И этот год проходил ужасно. Ему не разрешали использовать работающий реактор, поэтому он провел десять из 12 месяцев, собирая новую систему практически с нуля. Хуже того, товарищи по лаборатории избегали его, потому что у Накамуры не было докторской степени и научных работ, поскольку Nichia не разрешала их публиковать. Его воспринимали как скромного техника. Он вернулся в Японию в 1989г. с заказом на новый реактор MOCVD для Nichia и горячим желанием получить докторскую степень.

Но первые эксперименты тоже начались с не

Но первые эксперименты тоже начались с не

удач. В качестве кристалльной основы для синего светодиода *Накамура* решил использовать нитрид галлия, по которому на тот момент было мало исследований, — инженер хотел воспользоваться этим, чтобы получить докторскую степень через публикации. Но новый реактор MOCVD не мог вырастить чистый кристалл, и через полгода *Накамура*, отчаянно желая результатов, решил разобрать машину и самостоятельно построить лучшую версию. Десять месяцев, потраченных на сборку реактора во Флориде, внезапно оказались бесценными.

Он начал следовать одному и тому же расписанию: приходиться в лабораторию в 7:00, первую половину дня проводить за сваркой, резкой и ремонтом реактора, а оставшуюся часть дня — за экспериментами с модифицированным реактором, чтобы увидеть, на что он способен. В 19:00 он шел домой, ужинал, умывался и ложился спать.

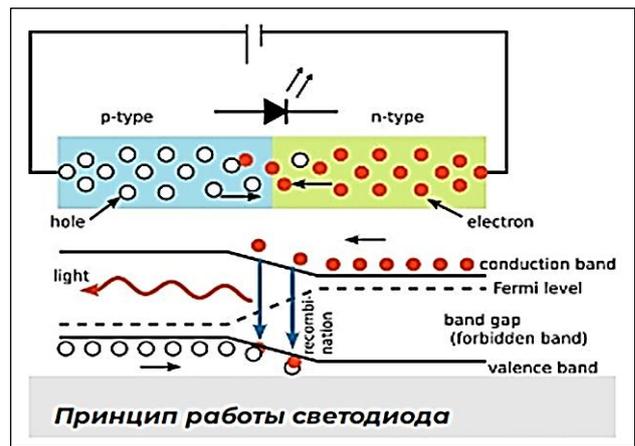
После полутора лет непрерывной работы без праздников и выходных он пришел в лабораторию зимним днем 1990г. Как и всегда, утром он возился с реактором, а днем вырастил образец нитрида галлия и испытал его. На этот раз подвижность электронов была в четыре раза выше, чем у любого нитрида галлия, выращенного до этого где-либо в мире. Это был триумф!

Но дела у *Накамуры* не стали идти лучше. Пока он был во Флориде, президент компании *Нобуо Огава*, одобрявший его поездку и выделивший деньги, отошел от дел. Генеральным директором компании стал его зять *Эдзи Огава*, и у него были куда более строгие взгляды. В 1990г. руководитель *Matsushita*, производителя светодиодов и крупнейшего клиента *Nichia*, посетил компанию, чтобы выступить с докладом о синих светодиодах. По его мнению, у нитрида галлия, которым занимался *Накамура*, не было будущего.

В тот же день *Накамура* получил записку от *Эдзи* с требованием немедленно прекратить работу над нитридом галлия. *Эдзи* никогда не поддерживал эти исследования и хотел положить конец тому, что он считал колоссальной тратой. Но *Накамура* скомкал записку и выбросил ее. Затем следующую. И следующую. И опять, и опять, и опять...

День за днем *Накамура* решал технологические проблемы производства синего светодиода и к 1992г. смог создать свой первый прототип. На семинаре в Сент-Луисе, где он его представил, ему аплодировали стоя. Светодиод был тусклым, но еще через полгода и эту проблему удалось решить. «*Пожалуйста, председатель, зайдите ко мне в кабинет*». *Накамура* показал тому работающий и яркий синий светодиод. «*О, это же здорово, да?*» Ученый был счастлив.

*Nichia* созвала пресс-конференцию в Токио, чтобы объявить о первом в мире настоящем синем светодиоде. Электронная промышленность



была ошеломлена. Эффект для состояния *Nichia* был мгновенным и взрывным. Заказы хлынули потоком, и к концу 1994г. они производили 1 млн синих светодиодов в месяц. К 2001г. их доход приближался к \$700 млн в год. Более 60% приходилось на продукцию с синими светодиодами.

Что до *Сюдзи Накамуры*, которому *Nichia* и была обязана увеличением своего состояния в четыре раза, то он получил бонус к зарплате в \$170 за патент. *Эдзи Огава* всегда считал упрямую индивидуальность *Накамуры* помехой, а не преимуществом, и в 2000г. после 20 лет работы в *Nichia* *Накамура* покинул компанию и переехал в США, где предложения о работе сыпались одно за другим.

И даже там его проблемы с *Nichia* не закончились. Он начал консультировать другую компанию по производству светодиодов, и *Nichia*, узнав об этом, подала на него в суд за разглашение секретов компании. *Накамура* ответил встречным иском к *Nichia* за то, что она так и не выплатила ему надлежащую компенсацию за его изобретение, потребовав \$20 млн. В 2001г. японские суды вынесли решение в пользу *Накамуры* и обязали *Nichia* выплатить ему в десять раз больше первоначального запроса. Но после апелляции дело было урегулировано выплатой в размере \$8 млн. В конце концов этого хватило только на покрытие судебных издержек *Накамуры*. Впрочем, он все равно получил свою компенсацию в виде Нобелевской премии.

По сравнению с лампами накаливания или люминесцентными лампами светодиодные лампы намного эффективнее. Они служат во много раз дольше, безопаснее в обращении и полностью настраиваемы. В 2010г. только 1% от продаж бытового освещения в мире приходился на светодиоды. В 2022г. их было уже больше половины. Полный переход на светодиоды может сократить выброс  $\text{CO}_2$  примерно на 1,4 млрд т, что эквивалентно удалению с дорог почти половины автомобилей в мире. И все это благодаря ученым.

<https://scientificrussia.ru/articles/kak-byt-sozdan-nevozmozhnyj-sinij-svetodioid>

## Стартап хочет использовать знания из программы «СОИ» для ядерного синтеза с помощью лазера

Спустя 30 лет после завершения стратегической оборонной инициативы (СОИ) американский стартап решил воспользоваться её наработками для термоядерного синтеза.

### Наследие «Звёздных войн» - как СОИ способствовала появлению новой технологии термоядерного синтеза

На пути к массовому ядерному синтезу существует несколько препятствий. Довольно важным фактором является энергоэффективность. Для воспламенения плазмы, т. е. для начала ядерного синтеза, требуется огромное количество энергии. Чтобы ядерный синтез имел смысл, производимая энергия должна быть выше, чем энергия, используемая для создания плазмы.

Этого ещё не удалось достичь с реакторами «Токамак», которые используют магнитное поле для управления плазмой, температура которой превышает 100 миллионов градусов Цельсия. Однако в 2022 году эксперимент по термоядерному синтезу с лазерным «зажиганием» увенчался успехом.

Лазеры бомбардировали сферу из замороженного дейтерия и трития. В результате ядерного синтеза было выделено в 2,5 раза больше энергии, чем необходимо для поддержания процесса. Но этот эксперимент в Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса (LLNL) был только экспериментом. Исследовательское учреждение не стало коммерциализировать технологию.

Именно здесь в игру вступает стартап Xcimer Energy. Американская компания получила \$100 млн в рамках финансирования, с помощью которого она хочет продолжить развитие технологии.

Амбициозная цель: выход энергии должен быть в 10 раз выше, чем необходимая (затраченная) энергия лазера. По сравнению с экспериментом LLNL, финансовые затраты на производство джоуля энергии, как утверждается, будут в 30 раз ниже.

### Джедаев не будет

В основе стартапа лежит технология, которая была разработана армией США в рамках Стратегической оборонной инициативы (СОИ). В 1980-х годах в США возникла идея использовать спутники для защиты от межконтинентальных баллистических ракет. Планировалось, что размещённые на высоте 1200 километров, они будут иметь «на борту» мощное лазерное оружие. Поскольку в рамках этой инициативы особое внимание уделялось экспериментам с лазерным оружием, программу прозвали «Звёздными войнами».

Звучит эффектно, но это всё же красивый рекламный ход. Лазерная технология, рассматриваемая в программе «Звёздных войн», — это эксимерные лазеры (разновидность ультрафиолетового газового лазера). Отсюда и название стартапа: Xcimer. К фильмам Джорджа Лукаса это изобретение, к сожалению, прямого отношения не имеет.

Эксимерные лазеры получили дальнейшее развитие по программе «Звёздные войны» и в настоящее время используются в глазной хирургии (лазерная коррекция зрения) и для производства полупроводниковых элементов. Но, конечно, звучит более захватывающе, когда Xcimer говорит о применении лазера из «Звёздных войн», а не о лазере для коррекции зрения.

### Принцип действия

Целью программы является создание лазерной системы мощностью более 10 мегаджоулей. Лазеры фокусируются на дейтерий-тритиевой наночастице через два небольших отверстия на расстоянии 50 метров. Эти наночастицы будут крупнее, чем в эксперименте LLNL, поэтому для реакции потребуется больше мегаджоулей. Однако, наночастицы большего размера дешевле производить и с ними легче обращаться. Система спроектирована таким образом, чтобы поджигать лишь небольшое количество топлива, которое производит энергию, необходимую для воспламенения остальной части, подобно спичке, поднесённой к бумаге. Это более эффективно и экономично.

Чтобы термоядерный синтез продолжался, необходимо каждые несколько секунд «поджигать» наночастицы с помощью лазера.

Чтобы преобразовать тепло, выделяемое при ядерном синтезе, в энергию, расплавленные соли лития поступают в камеру реактора. Расплавленные соли отводят тепло, выделяющееся при ядерном синтезе к резервуарам с водой. При нагревании вода превращается в пар. Пар, в свою очередь, приводит в движение турбину, которая вырабатывает электроэнергию. Соли также защищают стенки реактора от нейтронов, образующихся при ядерном синтезе. Первая стенка реактора прослужит 30 лет, что является запланированным сроком службы такой термоядерной электростанции.

Испытательная установка будет построена в ближайšie два года. Сообщается, что она не сразу будет готова к работе на мощности в 10 мегаджоулей. Однако она должна быть достаточно мощной, чтобы продемонстрировать экономию средств по сравнению с другими термоядерными технологиями.

Цель состоит в том, чтобы к 2034 году построить пилотную электростанцию, которая будет подавать энергию в городскую сеть. Эта технология должна проложить путь к такому типу термоядерного реактора, который не только можно быстрее построить, чем реакторы «Токамак», но и который будет намного дешевле.

[https://overclockers.ru/blog/Hardware\\_inc/show/177687/Starap-hochet-ispol-zovat-znaniya-iz-Zvezdnyh-vojn-dlya-yadernogo-sinteza-s-pomosch-ju-lazera](https://overclockers.ru/blog/Hardware_inc/show/177687/Starap-hochet-ispol-zovat-znaniya-iz-Zvezdnyh-vojn-dlya-yadernogo-sinteza-s-pomosch-ju-lazera)

#### «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