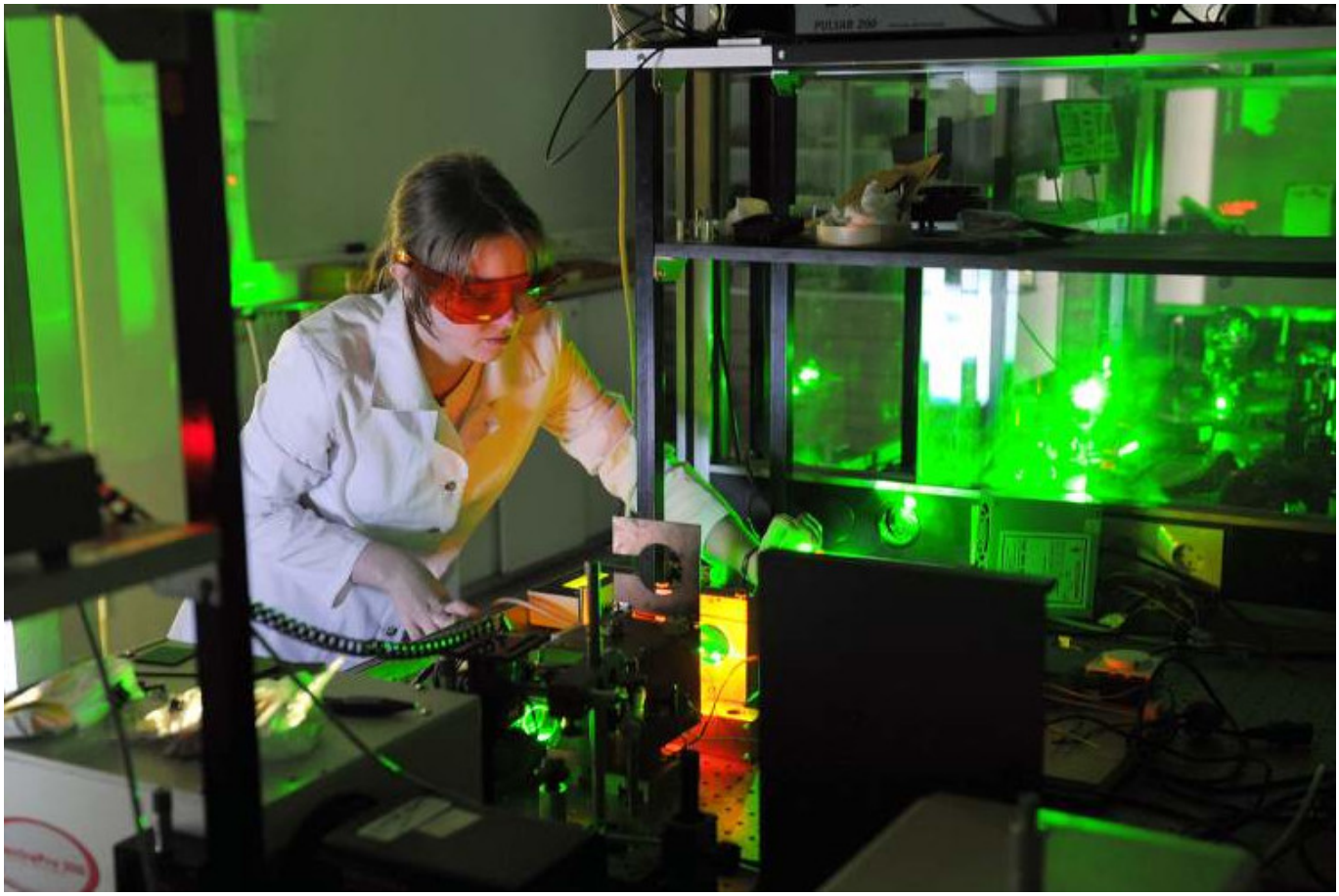
Директор ФТИ РАН Сергей Иванов — о передовых отечественных разработках в области оптической микроэлектроники

25.09.2025

В России создают технологию для лазерной зарядки спутников и приборы, которые позволяют изучать живые ткани с разрешением до нанометров. Об этих и других передовых разработках «Известиям» рассказал директор Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе, доктор физико-математических наук **Сергей Иванов**. Встреча с ним прошла на полях Форума «Микроэлектроника-2025».



— Сергей Викторович, что значит Форум микроэлектроники для страны?

— Это масштабное событие, которое проводят уже в 11-й раз. В нынешнем форуме, как ожидается, примут участие более 4 тыс. человек из 1100 организаций. Его ключевая роль — в объединении представителей отрасли: ученых, предпринимателей, руководителей корпораций и государственных ведомств. Такое взаимодействие создает мощный стимул для развития.

Нобелевский лауреат Жорес Алферов говорил, что науке необходима промышленность как направление для приложения фундаментальных исследований. Россия пережила эпоху, когда труд ученых был не востребован. Однако сейчас в стране созрел класс потребителей отечественной компонентной базы. Это двигает науку вперед. Форум стал одним из факторов, которые определили эти изменения. И здесь важно отметить вдохновляющую и

координирующую роль, которую играет президент Российской академии наук Геннадий Красников, ученик и соратник Жореса Алферова.

— Приведите примеры практических применений российских разработок в сфере микроэлектроники.

— Возьмем, к примеру, лазерные технологии. К ним, в частности, относят лидары — это «глаза» беспилотных транспортных средств. Они обеспечивают им обзор и возможность избегать препятствий. Такие приборы представляют собой комбинацию источников света (лазеров), его приемников (фотодетекторов) и преобразователей энергии фотонов (частиц света) в электрические сигналы. Все эти устройства — часть разработок ФТИ им. Иоффе.

Другой пример. В институте создают технологии для лазерной дозарядки малых спутников в космосе. Эта технология работает по принципу беспроводной передачи энергии. Ее суть заключается в следующем: мощный источник излучения, размещенный на спутнике-энергоустановке, формирует узкий лазерный луч. Этот луч наводится на приемные панели (фотоэлектрические преобразователи) целевого спутника, где энергия света преобразуется в электрическую. Принцип аналогичен работе солнечных батарей, но с более высокой эффективностью. Подобным образом можно передавать и информационный сигнал.

— Где еще востребованы лазерные технологии?

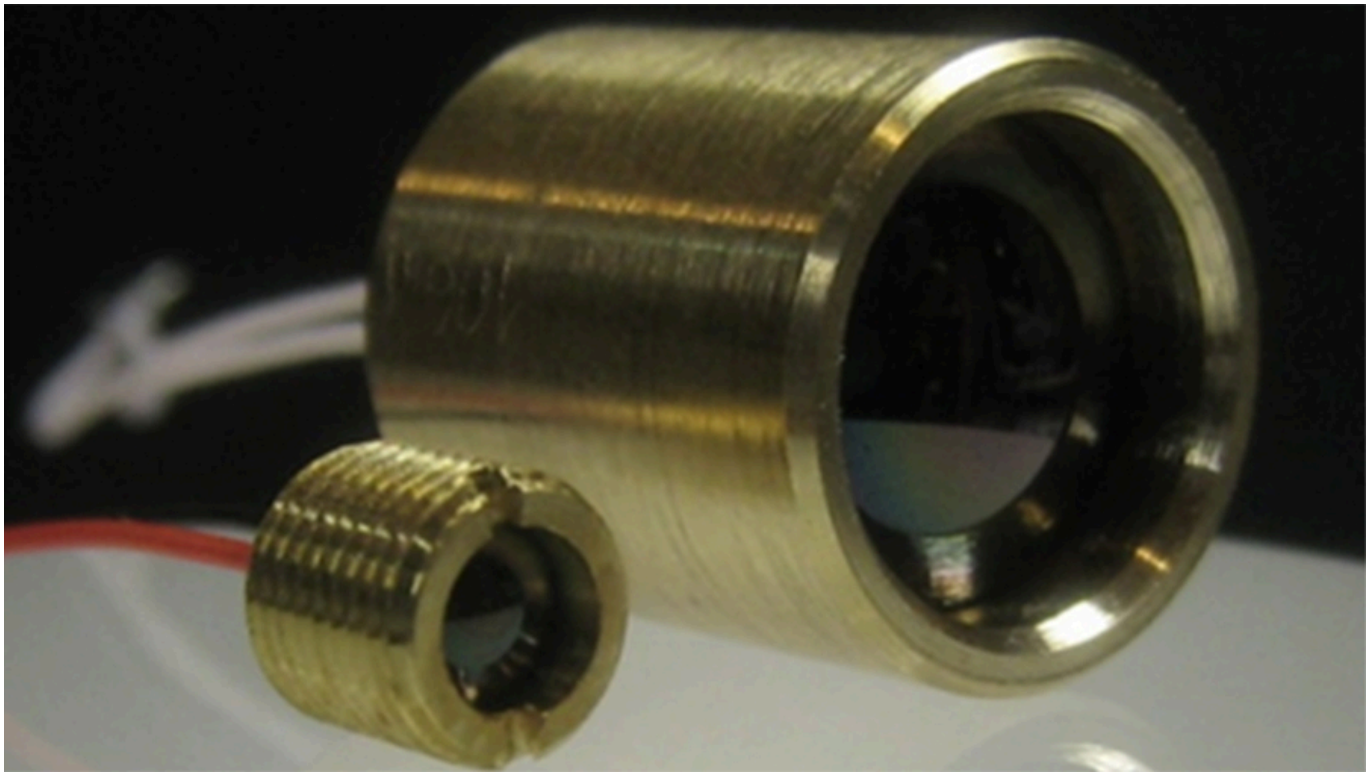
— Их широко применяют в спектроскопии — исследовании веществ и газов по анализу спектра поглощенных электромагнитных волн. Например, по поглощению невидимых глазом инфракрасных лучей диапазона 2–5 мкм можно определить содержание тех или иных молекул вещества в среде, через которую они пропущены. Для этого требуется второй компонент системы — фотодетектор, настроенный на ту же длину волны, что и источник, который улавливает свет. Такие двойные устройства получили название «оптопары».

На их базе создают различные приборы. Например, для определения концентрации вредных примесей в воздухе. В качестве примера можно привести детекторы CO2, разработанные в ФТИ и производимые компанией ООО «ИоффеЛЕД», которыми оснащали аппараты искусственной вентиляции легких (ИВЛ) во время эпидемии COVID-19 (производство ООО «Тритон электроникс»).

Эти сенсоры определяют уровень углекислого газа в выдохе человека, что помогает врачам точно настроить аппараты ИВЛ для правильного газообмена в легких пациента. Также уровень CO2 может сигнализировать о критических состояниях больного. Таких как падение артериального давления, закупорка сосудов или нарушение обмена веществ.

— Какие еще разработки ведут в этом направлении?

— Передовое направление — создание оптопар на базе квантово-каскадных лазеров. В них, в отличие от обычных полупроводниковых источников направленного света, электроны проходят через множество последовательных «ступенек» — квантовых ям (нанометровых слоев полупроводниковых гетероструктур, где энергия электрона ниже, чем в окружающих слоях) — и в каждой из них испускают фотоны за счет переходов на нижние квантовые уровни. В результате получаются мощные эффективные источники излучения, которые работают при комнатной температуре в средней инфракрасной области спектра. Этот диапазон обычным диодным лазерам недоступен.



Детекторы-оптопары CO2, разработки в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Фото: личный архив Сергея Иванова

В ФТИ нацелены на разработку оптопар на основе квантово-каскадных лазеров для дистанционной работы на длинах волн 4–5 мкм. В этом диапазоне расположены спектральные полосы поглощения большинства молекул природных и техногенных газов.

В настоящее время здесь получены важные обнадеживающие результаты. В частности, разработаны чувствительные приборы для дистанционного определения утечек в газопроводах. Они регистрируют концентрацию метана в два раза ниже предельно допустимой.

— Чем оптические детекторы лучше традиционных химических?

— Приборы на основе электрохимических реакций постепенно насыщаются, поэтому они требуют либо постоянного подогрева, либо регулярной регенерации. В отличие от них оптические системы более компактны, не изнашиваются в процессе измерений и могут работать без замены длительное время и, как уже было сказано, дистанционно. Кроме того, они проводят измерения мгновенно, не затрачивая времени, требуемого на прохождение химической реакции. Вместе с тем оптические устройства обеспечивают высокую точность, идентифицируя целевое вещество по его уникальному спектральному «отпечатку».

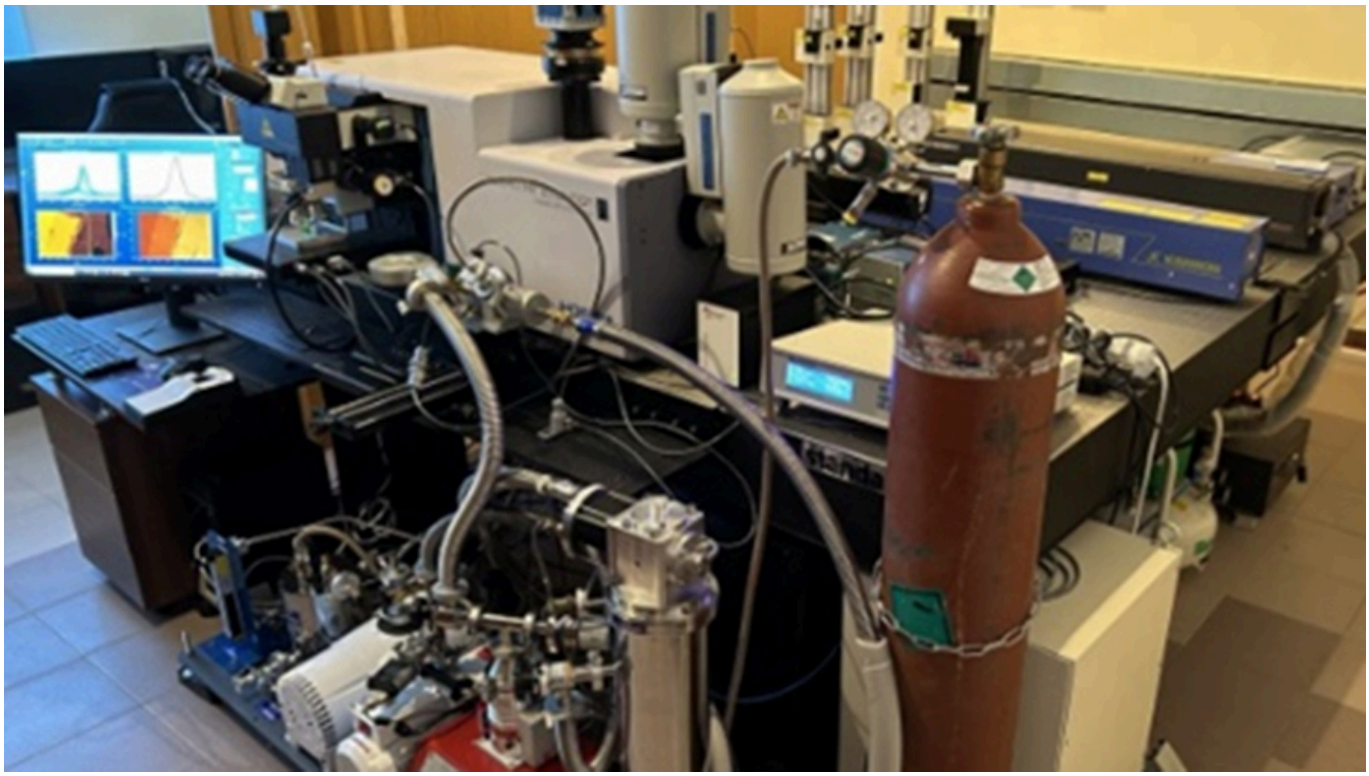
Оптические приборы удобнее для медицинских целей, поскольку позволяют провести анализ мгновенно и не повреждая ткани. Например, чтобы определить содержание глюкозы в крови, прежде брали образцы крови, помещали их в химический анализатор и проводили исследование. Сейчас для этих целей достаточно поместить палец в прибор-оптопару, который настроен на длину волны 2,1 мкм.

— Расскажите о фотонных разработках в биомедицинском направлении.

— В качестве примера можно привести создание в ФТИ им. Иоффе прорывной методики исследования живых клеток методами оптической спектроскопии с высоким спектральным,

пространственным и временным разрешением, которые прежде применяли лишь для изучения твердых тел. Методика позволяет увидеть малейшие и мгновенные изменения химического состава клеток на масштабе до нескольких нанометров (одна миллиардная метра) и нескольких пикосекунд (триллионная доля секунды).

Оптическая высокоточная томография, основанная на этой методике, будет востребована, в частности, в онкологии — для изучения in vivo опухолевых клеток и влияния на них лекарств и различных излучений. Например, сейчас в России, и в частности в Санкт-Петербурге, консорциум научно-исследовательских организаций разрабатывает «вакцину» против рака — биопрепарат, который изготавливают на базе опухолевых клеток конкретного человека. С них делают копию в виде матричной-РНК, которую вводят в организм в качестве антигена, чтобы активировать иммунную систему. В этом направлении достигнуты значительные успехи. В том числе есть случаи спасения людей с 3–4-й стадиями развития заболевания.



Многофункциональный оптический комплекс, предназначенный для исследования широкого круга объектов методами спектроскопии высокого пространственного и временного разрешения. Фото: из личного архива Сергея Иванова

В каждом индивидуальном случае предложенная нами спектроскопическая диагностика позволит на клеточном уровне отследить действие препарата на злокачественные образования и при необходимости корректировать лечение, а также диагностировать заболевание на предельно ранних стадиях. Эти разработки ведутся совместно с Институтом цитологии РАН и НМИЦ онкологии имени Н.Н. Петрова.

— Для чего еще применяют квантово-каскадные лазеры?

— Поскольку средний инфракрасный диапазон попадает в «окна прозрачности» атмосферы 3–5 и 8–12 мкм, такие устройства могут быть востребованы для всепогодной помехозащищенной лазерной связи между спутниками и наземными устройствами, внутри роев БПЛА. В частности, специалистами ФТИ им. Иоффе с партнерами были созданы лазеры с мощностью в импульсном режиме более 20 Вт, что превышает современный мировой уровень.

В перспективе такие устройства будут давать возможность передавать по лазерной связи сотни гигабайт информации в секунду. Например, снимки со спутников в высоком разрешении и в реальном времени. Помимо этого, такая мощность повышает качество передачи данных и открывает возможности для дальней связи, в том числе с аппаратами в глубоком космосе. Примечательно, что в отличие от подавляющего большинства мощных лазеров, работающих в данных спектральных диапазонах, которые нуждаются в криогенном охлаждении, разрабатываемые в ФТИ квантово-каскадные лазеры могут работать при комнатной температуре. Разработки ККЛ проводятся нами совместно с ООО «Коннектор-Оптикс», АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха» и НПП «Инжект».

— Расскажите о ваших работах в сфере квантовой техники.

— В этом направлении в институте в числе прочего созданы устройства с квантовыми точками InGaAs (на основе арсенида индия-галлия) — источниками одиночных фотонов на длине волны 750–900 нанометров. Эти длины волн используют в полимерных оптических волокнах, которые применяют в системах квантовых вычислений — упрощенно, «квантовых компьютеров».

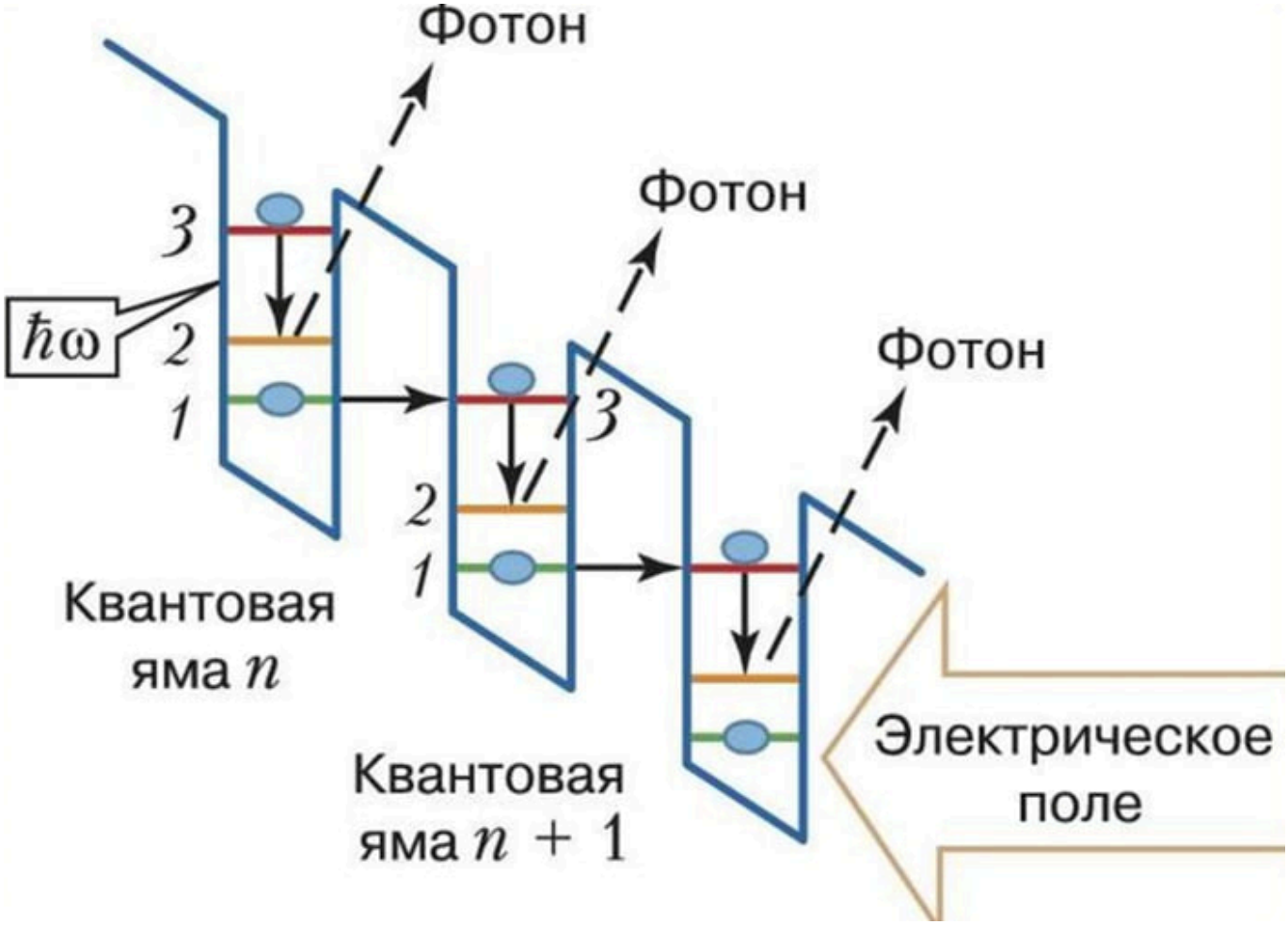


Схема работы квантово-каскадного лазера. Фото: из личного архива Сергея Иванова

В отличие от лазеров, которые излучают поток световых частиц, квантовые точки генерируют строго по одному фотону (кванту света) в ответ на возбуждающий оптический или токовый импульс. Эффективность разработки составила свыше 70%. Это значит, что при подаче 10 импульсов в семи случаях излучается ровно один фотон. При этом эти частицы идентичны и неразличимы между собой.

Вместе с тем интенсивность генерации в 1,5 раза превысила коммерчески доступные импортные решения. Таким образом, произошло опережающее импортозамещение, когда

недоступные аналоги замещает более эффективная отечественная разработка. Такие квантовые точки — одна из перспективных платформ для развития квантовых вычислителей.

— Также квантовые точки используют в системах связи?

— Да, в этом направлении были разработаны экспериментальные источники одиночных фотонов с эффективностью 22%, что тем не менее в два раза лучше мировых аналогов.

Эти квантовые точки работают на длинах волн 1,55 мкм — «окне прозрачности» кварцевого волокна, из которого строят интернет-магистрали. Поэтому такие устройства легко интегрировать в существующую оптоволоконную инфраструктуру для создания квантового интернета и систем квантовой связи.

Достижением ученых ФТИ в этой сфере стал ряд технологических решений, которые позволили создавать источники одиночных фотонов на платформе арсенида галлия (GaAs) — дешевой и хорошо освоенной отечественными компаниями технологии изготовления компонентов СВЧ-электроники. Это открывает путь к массовому производству таких однофотонных источников.

Такие устройства перспективны прежде всего в системах безопасной криптографически защищенной передачи данных. Они позволяют кодировать световую информацию в оптоволоконном кабеле путем генерации сложных ключей — случайных последовательностей квантовых кодов, которые передаются вместе с закодированной информацией. Любая попытка перехвата такой информации будет сопровождаться потерей фотонов из кодовых последовательностей, свидетельствующей о внешнем вмешательстве.

Разработка будет востребована для квантово-оптической магистрали Москва — Санкт-Петербург и других планируемых линий квантовой связи.

Сейчас на этой магистрали через каждые 70 км установлены широкополосные амплитудные и фазовые оптические модуляторы на основе ниобата лития, также разработанные и производимые в нашем институте. Но пока в ней в качестве источников фотонов используются не квантовые точки, а полупроводниковые лазеры с сильно ослабленной интенсивностью.

— Какие меры принимаются, чтобы разработки ученых нашли применение в практических устройствах?

— В настоящее время близится к завершению строительство НИОКР-центра ФТИ. Центр приступит к работе в конце 2026 года. Осталось дооснастить все производственные помещения и чистые комнаты необходимыми инженерными системами. Готовность проекта — 85–90%. Его основная задача — аккумулировать фотонные и электронные разработки Физтеха им. Иоффе и доводить их до уровня промышленного внедрения.

На базе этой структуры в рамках федерального проекта «Подготовка кадров и фундамента электронной промышленности» создается Центр современной импортозамещающей гетероструктурной электронно-компонентной базы на базе ФТИ им. А.Ф. Иоффе (Центр ЭКБ Иоффе).

Финансирование программы — около 6 млрд рублей — позволит приобрести современное технологическое и диагностическое оборудование и создать локализованные в России технологические линии выпуска мелких серий разнообразной электронной и фотонной ЭКБ.



— На какой стадии находится этот проект?

— Сейчас закуплено около 60% оборудования. Всего будет приобретено порядка 80 единиц техники. Как минимум, половина из них — отечественного производства или Союзного государства. В Центре ЭКБ Иоффе будут созданы современные линии полного цикла — от роста кристаллов и гетероструктур до выпуска готовых корпусированных фотонных и электронных устройств. Таких как гетеролазеры разных типов, каскадные солнечные элементы, фотоприемники, устройства для беспроводной передачи информации, различные датчики и детекторы и многое другое.

Помимо этого, Минпромторг РФ запускает программу по созданию полигонов для испытаний продукции отечественной электронной промышленности. Один из них будет создан на базе Центра ЭКБ Иоффе, а другой — НИУ «МИЭТ» в Зеленограде. Их задача состоит в том, чтобы проводить независимое экспертное тестирование и доработку нового отечественного оборудования. Такие испытательные полигоны помогут в итоге создавать технику мирового класса.

Текст: Андрей Коршунов.
Источник: «Известия».