

## ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ КРЕМНИЕВОЙ ФОТОНИКИ

Интернет и мобильная связь проникли во все сферы жизни человека, активно развиваются облачные сервисы и потоковое телевидение высокой четкости, набирает силу Интернет вещей. Все это в ближайшие годы приведет к экспоненциальному росту объема передаваемых в сеть данных и увеличению спроса на новые технологии, обеспечивающие повышенную пропускную способность информационных каналов. Подобные разработки могут применяться при передаче данных на всем пути от пользователя до дата-центров, внутри дата-центров и даже между чипами в мультипроцессорных системах современных суперкомпьютеров при расчетах «больших данных» (big data).

В настоящем выпуске информационного бюллетеня представлены перспективные направления фотоники — беспроводная оптическая связь, или оптика свободного пространства (служит для передачи информации посредством излучения от светодиодов и лазеров), и кремниевая фотоника, которая значительно удешевляет и миниатюризирует решения по передаче света через оптические волокна на короткие расстояния.

#### Трендлetter выходит 1–2 раза в месяц.

Каждый выпуск посвящен одной теме:

- Медицина и здравоохранение
- Рациональное природопользование
- **Информационно-коммуникационные технологии**
- Новые материалы и нанотехнологии
- Биотехнологии
- Транспортные средства и системы
- Энергоэффективность и энергосбережение

Мониторинг глобальных технологических трендов проводится Институтом статистических исследований и экономики знаний Высшей школы экономики (issek.hse.ru) в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ.

*При подготовке трендлetterа использовались следующие источники:*

Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации до 2030 года (prognoz2030.hse.ru), материалы научного журнала «Форсайт» (foresight-journal.hse.ru), данные Web of Science, Orbit, gartner.com, Yole development, Cisco, marketsandmarkets.com, photonics.com, datacenterdynamics.com, spectaris.de и др.

Более детальную информацию о результатах исследования можно получить в ИСИЭЗ НИУ ВШЭ: issek@hse.ru, +7 (495) 621-82-74.

#### Над выпуском работали:

Никита Волков (НИИ «Полюс» им М.Ф. Стельмаха), Константин Вишневский, Юлия Мильшина, Лилия Киселева, Елена Гутарук, Владимир Пучков, Олег Васильев.

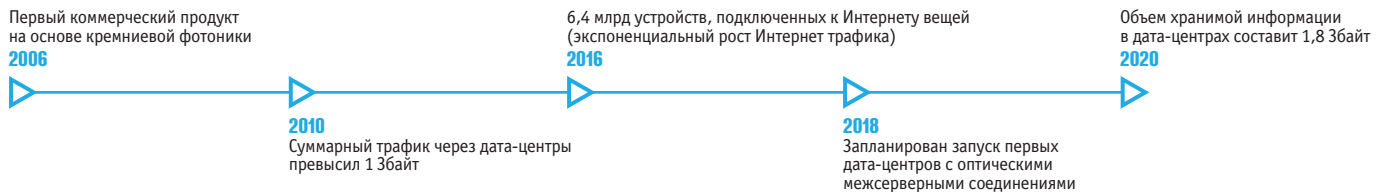
© Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2017

## ДАТА-ЦЕНТРЫ ПЕРЕХОДЯТ НА ОПТИЧЕСКУЮ СВЯЗЬ

Трафик через дата-центры в ближайшие пять лет вырастет втрое: с 5 зеттабайт (Збайт) в 2015 г. до 15 Збайт к 2020 г. Увеличение объема данных, распространение концепции параллельных вычислений, предполагающей одновременную работу нескольких серверов, повышают требования к скорости их передачи. В подавляющем большинстве дата-центров сейчас используются сетевые кабели. Их пропускная способность (основанная на передаче электрического сигнала) достигла своего предела и недостаточна для удовлетворения растущих потребностей в высокоскоростной передаче данных. За счет оптических коммуникаций можно достичь значительного прогресса как в скорости обмена информацией, так и в дальности расстояния, на котором передается сигнал.

Решения для оптических коммуникаций, доступные на рынке сегодня, выглядят как громоздкие системы с несколькими разделенными элементами, выполняющими функции генерации излучения, отдельной модуляции и детектирования. Технологии кремниевой фотоники совмещают все указанные элементы, включая среду для транспортировки света между ними, на одном кремниевом чипе. Переход на них сократит общие энергозатраты дата-центров, приведет к снижению тепловыделения и веса оборудования, в частности кабелей.

### Технологическая эволюция: фотонные решения для дата-центров



### Эффекты

- Подготовка инфраструктуры дата-центров к реализации технологий Интернета вещей и к росту облачных сервисов
- Увеличение эффективности обработки «больших данных»
- Рост количества разработок в области лазерных излучателей на основе кремния

### Оценки рынка

**\$410 млн**

к 2024 г. составит совокупный объем рынка решений кремниевой фотоники для дата-центров (среднегодовой темп роста – 40%)

212 млн ед. к 2024 г. – количество устройств кремниевой фотоники

### Драйверы

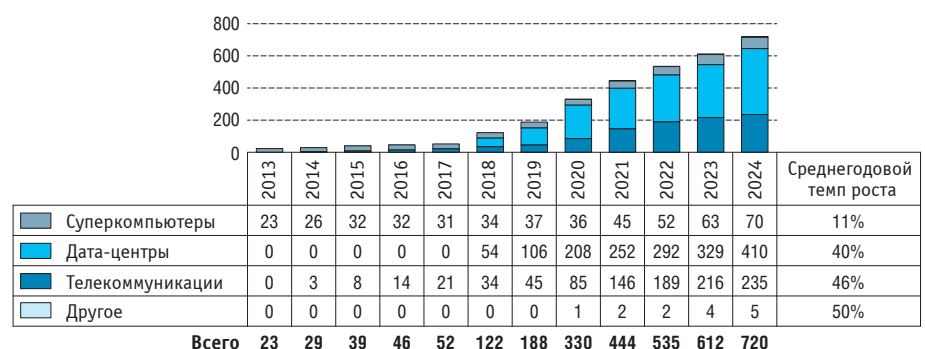
- ↑ Технологические сложности, связанные с созданием излучателя на основе кремния
- ↑ Развитие облачных сервисов и переход от традиционных внутриорганизационных дата-центров к централизованным облачным аналогам

### Барьеры

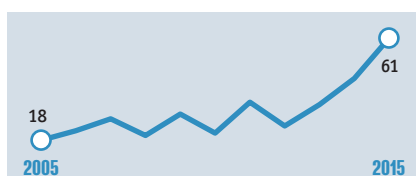
- ↓ Технологические сложности, связанные с невозможностью создания излучателя на основе кремния
- ↓ Высокие затраты на разработку решений кремниевой фотоники
- ↓ Высокие затраты на техническое переоснащение существующих дата-центров

### Структурный анализ:

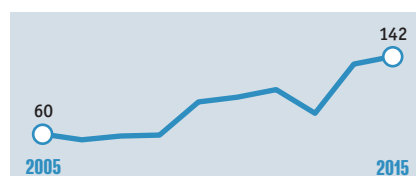
структура рынка кремниевой фотоники (2013–2024 гг., млн долл.)



### Международные научные публикации



### Международные патентные заявки



### Уровень развития технологии в России

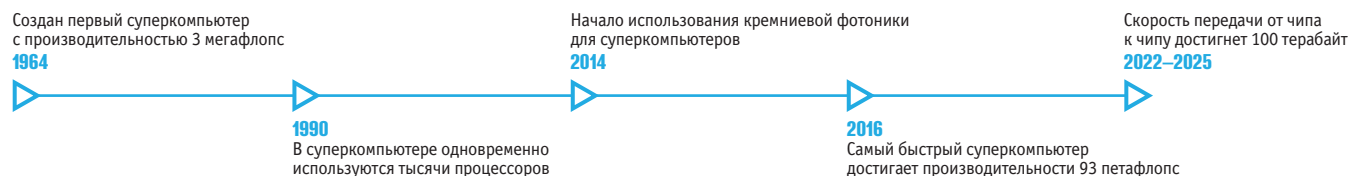
«Белые пятна» – существенное отставание от мирового уровня, отсутствие (или утрата) научных школ

## ОПТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ДЛЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ

Для вычислений в области квантовой физики, молекулярного моделирования, симуляции физических процессов, климатических исследований и прогнозирования погоды нужны высокопроизводительные вычислительные машины. Использование одного процессора уже не позволяет получить требуемую производительность, что приводит к распространению концепции мультипроцессорной системы.

В такой системе вычисления распределены между множеством процессорных чипов, а ее производительность прямо пропорциональна их количеству. Благодаря использованию кремниевой фотоники все процессоры связываются между собой и с модулями памяти проводящими дорожками, сформированными в кремнии во время производства чипа. При этом создается миниатюрное подобие телекоммуникационной сети, максимальная пропускная способность которой ограничена (загруженность процессоров зависит от своевременности подвода к ним пакетов информации). Переход от электронной передачи к оптической (на основе кремниевой фотоники) существенно повышает пропускную способность сети-на-чипе, одновременно снижая энергозатраты и тепловыделение. Оптические и модулирующие компоненты системы создаются на чипе в рамках одного технологического процесса, так же как при изготовлении традиционных микроэлектронных устройств. А увеличение стоимости производства при этом минимально благодаря использованию традиционного материала микроэлектронной промышленности — кремния.

### Технологическая эволюция: кремниевая фотоника для суперкомпьютеров



### Эффекты

- Увеличение вычислительного потенциала современных суперкомпьютеров
- Увеличение скорости комплексного моделирования для прогнозирования различных процессов в науке и технике
- Расширение использования решений кремниевой фотоники в потребительской электронике

### Оценки рынка

**\$435 млн**

может составить к 2024 г. совокупный объем рынка решений кремниевой фотоники для высокопроизводительных вычислительных машин (среднегодовой темп роста — до 46%).

В 2024 г. численность устройств кремниевой фотоники для высокопроизводительных компьютеров составит 108,6 млн ед.

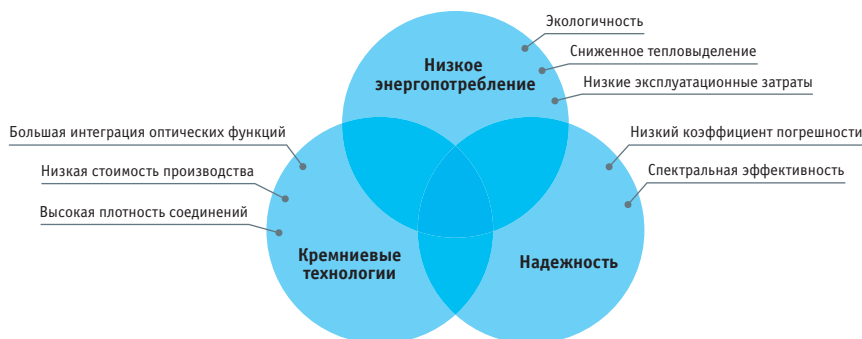
### Драйверы

- ↑ Повышение требований к производительности суперкомпьютеров
- ↑ Оптические сети создаются в одной системе и на основе одного материала с процессорами
- ↑ Традиционные электронные соединения не позволяют достичь нужных скоростей передачи информации от чипа к чипу

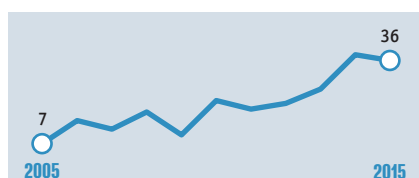
### Барьеры

- ↓ Технологические сложности в создании кремниевого излучателя: необходимость усложнения архитектуры чипа и использования лазеров на основе других материалов
- ↓ Высокие затраты на разработку решений кремниевой фотоники

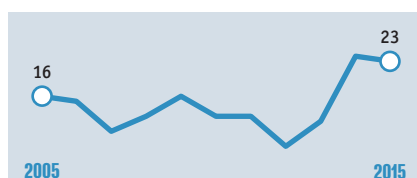
### Структурный анализ: преимущества кремниевой фотоники



### Международные научные публикации



### Международные патентные заявки



### Уровень развития технологии в России

«Белые пятна» – существенное отставание от мирового уровня, отсутствие (или утрата) научных школ

## ОПТИКА СВОБОДНОГО ПРОСТРАНСТВА

С каждым годом увеличивается потребность в беспроводной передаче данных на больших скоростях. Новые решения, требующие выделения новых частот в «густонаселенном» радиодиапазоне электромагнитного спектра, не могут обеспечить высокоскоростной передачи информации (больше 1 Гбит/сек) на большие расстояния, а прокладка оптоволоконных сетей весьма затратна. Альтернативой радиочастотному диапазону для некоторых специфических областей применения может стать видимый, инфракрасный и ближний ультрафиолетовый диапазоны излучения. Такой вид связи получил название *Free space optics (FSO)* — оптика свободного пространства.

На рынке уже представлены решения для наружной передачи оптической информации на большие расстояния (до 150 км) и для оптических сетей внутри помещения (Visible light communication — VLC), выстраиваемых посредством высокочастотной модуляции света, испускаемого светодиодными лампами (LED). К потенциальным применениям технологии оптической беспроводной связи относят коммуникации между чипами, передачу на короткие расстояния (в том числе под водой), коммуникации на средние (Li-Fi сети, связь автомобиля с инфраструктурой и с другими транспортными средствами), дальние (например, между зданиями) и сверхдальние (космическая связь) расстояния.

### Технологическая эволюция: оптика свободного пространства



### Эффекты

- Появление в потребительской электронике модулей для приема и передачи беспроводной оптической информации
- Новые возможности для создания устройств «умного» дома
- Подключение к сети труднодоступных регионов
- Устройства научатся «общаться» с окружающей «умной» инфраструктурой посредством света

### Оценки рынка

**\$8,5 млрд**

может составить к 2020 г. совокупный объем рынка решений оптической беспроводной связи на короткие расстояния внутри помещений (VLC) при среднегодовом темпе роста до 92% (2015–2020 гг.)

Рынок беспроводной оптической коммуникации на дальние и сверхдальние расстояния оценивается почти в \$1 млрд к 2020 г. (среднегодовой темп роста — ок. 50%)

### Драйверы

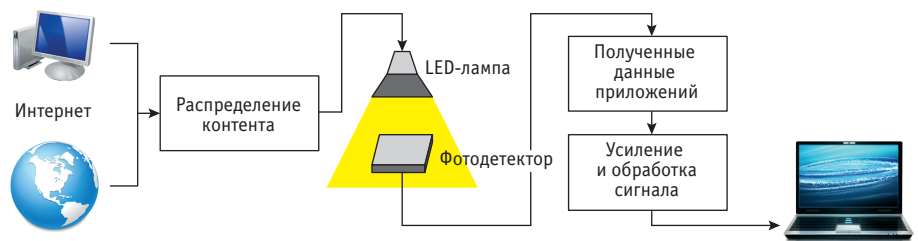
- ↑ Потребность в удешевлении передачи информации на высоких скоростях на дальние расстояния
- ↑ Потребность в создании защищенных сетей в рамках одного помещения или комнаты
- ↑ Высокая экономичность технологии при использовании светодиодных ламп в качестве источников сигнала
- ↑ Экономичный способ решения проблемы «последней мили» в телекоммуникации при доставке сигнала от провайдера до пользователя

### Барьеры

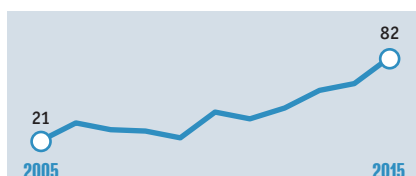
- ↓ Зависимость пропускной способности при передаче на дальние расстояния от текущих погодных условий
- ↓ Источник беспроводного сигнала должен находиться в прямой видимости приемника излучения

### Структурный анализ:

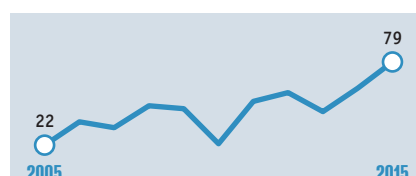
Схема действия беспроводной оптической связи



### Международные научные публикации



### Международные патентные заявки



### Уровень развития технологии в России

«Заделы» — наличие базовых знаний, компетенций, инфраструктуры, которые могут быть использованы для форсированного развития соответствующих направлений исследований