

Интегральные фотонные компоненты

для оптических систем передачи информации в ЦОД

О.Е.Наний, д.ф.-м.н., профессор МГУ им. М.В.Ломоносова, нач. научного отдела ООО «Т8»



1. Введение

Объем информации, передаваемой по сетям связи, продолжает экспоненциально расти со скоростью примерно 20–30% ежегодно. Потребность в росте объемов передаваемой информации обусловлена бурным прогрессом информацион-

ных технологий, развитием сетевых приложений и облачных сервисов. Техническую возможность столь быстрого роста объемов передаваемой информации обеспечивает стремительный прогресс оптических систем связи (ОСС).

Сегодня нам не известны альтернативные технологии передачи информации, которые могли бы сравниться с ОСС по пропускной способности, универсальности и географическому охвату. Следующие несколько десятилетий, несомненно, будут посвящены решению ключевых фундаментальных задач оптической связи, направленных на то, чтобы сделать оптическую передачу информации еще более эффективной и практичной. Для этого необходимо дальнейшее непрерывное развитие оптических систем и сетей связи в направлении миниатюризации фотонных и оптико-электронных компонентов, снижения энергопотребления и увеличения канальной скорости передачи информации, упрощения технологий управления сетевыми ресурсами и методов контроля качества передачи информации [Коньшев 2022]

Сети дальней связи, городские и локальные сети практически совершили переход к оптичес-

ким технологиям. Аналогичная ситуация в области связи между центрами обработки данных (ЦОД) – переход на оптические системы передачи уже состоялся.

Но электрические соединения стали узким горлышком в развитии самих ЦОД и высокопроизводительных электронных вычислительных машин. В настоящее время введены в эксплуатацию несколько супер-ЭВМ производительностью 20–200 петафлоп/сек. Потребляемая мощность этих ЭВМ находится в диапазоне 2–30 МВт, при этом, на долю интерконнектов приходится около 30% всей потребляемой мощности [Ахманов 2021]. Продолжающийся переход к распределенным вычислениям с использованием многоядерных устройств может увеличить эту долю до 50% и более, поэтому становится очевидным, что переход на оптические межсоединения неизбежен.

В настоящее время активно идет внедрение оптической связи в системах с характерными размерами от метров до сантиметров: в первую очередь речь идет о межсоединениях между

В номере:

- **Интегральные фотонные компоненты для оптических систем передачи информации в ЦОД** *О.Е.Наний*
- **ХРОНИКА.** Темы фотоники на форуме «Армия-2023»
- **ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ**
- **Объявления**

блоками в стойке (от 1 до 5 м), между модулями в кросс-панели (типичное расстояние от 70 см до 1 м) и между микросхемами в пределах одного модуля (типичное расстояние 30 см)

В дальнейшем прогнозируется переход оптики на уровень соединений между микросхемами (чипами) и, в конечном счете, на уровень соединений внутри микросхем. Способность очень коротких оптических соединений (менее 10 м) вытеснить сегодняшние электрические соединения зависит от потребления мощности, плотности расположения каналов и, что наиболее важно, от стоимости решений.

С учетом всех факторов ведущие ученые и аналитики считают, что в ближайшие годы оптические технологии межсоединений переместятся с уровня платы (*board*) на уровень микросхемы (*chip*) [Thraskias 2018]. Но для реализации захватывающих перспектив в области оптических межсоединений необходимо решить множество задач, в основном связанных со снижением энергопотребления и интеграции фотонных и электронных компонент.

Самый актуальный вопрос сейчас: что нужно сделать, чтобы приблизить и ускорить переход к оптическим межсоединениям.

Основные преимущества оптических технологий связи для высокоскоростной передачи информации в супер-ЭВМ и микропроцессорных системах:

- существенное уменьшение задержек (оптические сигналы распространяются со скоростью света);
- ширина полосы пропускания среды практически не ограничена – до 100 ТГц. Ширина полосы канала оптического интерконнекта определяется быстродействием передатчика и приемника (в настоящее время до 40 ГГц);
- для увеличения информационной емкости канала можно использовать методы мультиплексирования (TDM и WDM);
- фотоны не взаимодействуют друг с другом, и можно минимизировать взаимные наводки соседних линий и внешние воздействия;
- меньше проблем с рассеиваемой в тепло мощностью, тепловыделение не увеличивается с длиной соединений;
- нет проблем с согласованием импедансов линий и нагрузок;
- нет ограничений для архитектуры, связанных с двумерностью разводки;
- при помощи оптических технологий можно реализовать трехмерные глобальные межсоединения большого числа СБИС;
- оптическую связь можно применять на всех уровнях иерархии межсоединений в супер-ЭВМ и микропроцессорных системах.

2. Техничко-экономические требования к оптическим межсоединениям

К оптическим межсоединениям разного уровня (от соединений между ЦОД до соединений внутри микросхемы) предъявляются очень разные требования, поэтому их разработкой и производством занимаются различные игроки рынка, при этом используются различные технологические решения.

Для коротких соединений главное – технологичность, низкое энергопотребление и высокая плотность интеграции. Для решения этих задач могут использоваться технологии, существенно отличающиеся от тех, которые используются в сетях дальней связи [Mekawey 2022]

Вместе с тем для большинства этих уровней одним из наиболее важных параметров, по которым можно сравнивать технические характеристики межсоединений, является энергоэффективность, измеряемая в пДж/бит или мВт/Гбит/с). Не менее важным показателем для сравнительной оценки межсоединений является стоимость бита (\$/Гбит). Еще одним важным параметром, который необходимо учитывать при проектировании систем передачи информации в компьютерных системах, является плотность полосы пропускания (Гбит/с/мм или Гбит/с/мм²).

В **табл. 1** представлены целевые требования к энергоэффективности и стоимости гигабита информации в компьютерных системах передачи разного уровня, выполнение которых позволит оптическим системам стать конкурентоспособными по сравнению с электронными аналогами.

Требуемая энергетическая эффективность и целевая стоимость оптических межсоединений [Thraskias 2018]

Оптические системы передачи информации на большие расстояния наименее чувствительны к стоимости и потребляемой энергии. Поэтому в них используются технологии, обладающие лучшими техническими характеристиками. Различные компоненты могут изготавливаться с использованием различных технологических платформ и технологий. Стандартом для телекоммуникационных систем связи стали модуляторы на основе ниобата лития и полупроводниковые лазеры с распределенной обратной связью (РОС-лазеры).

Энергоэффективность РОС-лазеров (несколько пДж/бит) достаточна для передачи информации между центрами обработки данных (ЦОД), но оказывается не достаточной для соединений внутри ЦОД. В исследовательских лабораториях достигнута энергетическая эффективность РОС-лазеров 500 фДж/бит, что может быть достаточно для соединений между стойками внутри ЦОД, но для их практического при-

Табл.1 Целевые требования к энергоэффективности и стоимости гигабита информации в компьютерных системах передачи разного уровня

	Distance	Energy per bit	Target Cost
Inter-DCN	1–100 km	<10 pJ/b	<\$1000
Rack-to-rack	1 m–2 km	<1 pJ/b	<\$100
Board-to-board	0.3–1 m	<1 pJ/b	<\$10
Module-to-module	5–30 cm	<0.5 pJ/b	<\$5
Chip-to-chip	1–5 cm	<0.1 pJ/b	<\$1
Core-to-core	<1 cm	<0.01 pJ/b	<\$0.01

менения необходимо, чтобы они выиграли экономическое соревнование с лазерами других типов.

С точки зрения энергетической эффективности и стоимости более привлекательными источниками света при передаче данных на относительно короткие расстояния являются лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL). В настоящее время выпускаются VCSEL с энергопотреблением менее 100 фДж/бит (при скорости 25 Гбит). Исследования показывают, что можно эффективно снизить затраты энергии, уменьшая активную площадь лазеров. В настоящее время VCSEL являются передатчиками для межплатных соединений.

Насколько быстро будут развиваться технологии оптических межсоединений на меньших масштабах – для обмена информацией между чипами (1–3 см) и, тем более, для обмена информацией внутри чипов (менее 1 см) – сегодня предсказать трудно.

Ожидается, что лазеры с фотонно-кристаллическими нано-резонаторами и другими резонаторами с размерами порядка длины волны света в материале (LEAP-лазеры) смогут удовлетворить потребность в создании передатчиков со сверхнизким энергопотреблением. Кроме того, они могут быть изготовлены с фотонно-кристаллическими диодами на той же пластине, создавая таким образом на кристалле оптические сое-

динения, содержащие передатчики на основе LEAP-лазеров и приемников на основе фотонно-кристаллических (PhC) фотодиодов.

Научные исследования в области плазмоники демонстрируют определенные успехи, но до создания реальных устройств, имеющих коммерческие перспективы, предстоит еще пройти большой путь. Ключевая проблема связана с очень большими потерями в современных плазмонных пассивных устройствах. Для компенсации потерь поверхностных плазмонов активно исследуются усилители поверхностных плазмонов за счет их стимулированного излучения. По аналогии с лазерами широко используется аббревиатура SPASER (*Surface Plasmon Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Ожидается, что именно с использованием спазеров удастся достичь эффективности, необходимой для создания оптических соединений на чипе.

Аналитики полагают, что технические задачи по созданию сверхкоротких оптических интерконнектов с потреблением энергии от единиц фДж/бит до 10 фДж/бит будут решены в ближайшие 10 лет. Однако, для успешного внедрения оптических межсоединений они должны выиграть экономическое соревнование с электрическими.

Несмотря на некоторый скептицизм части научного сообщества исследования фотонных технологий проводится на самых нижних уровнях иерархии межсоединений в ЦОД и суперкомпьютерах. На **рис.1** показана структура возможного экзафлопного вычислительного узла с использованием фотонных устройств. Наиболее

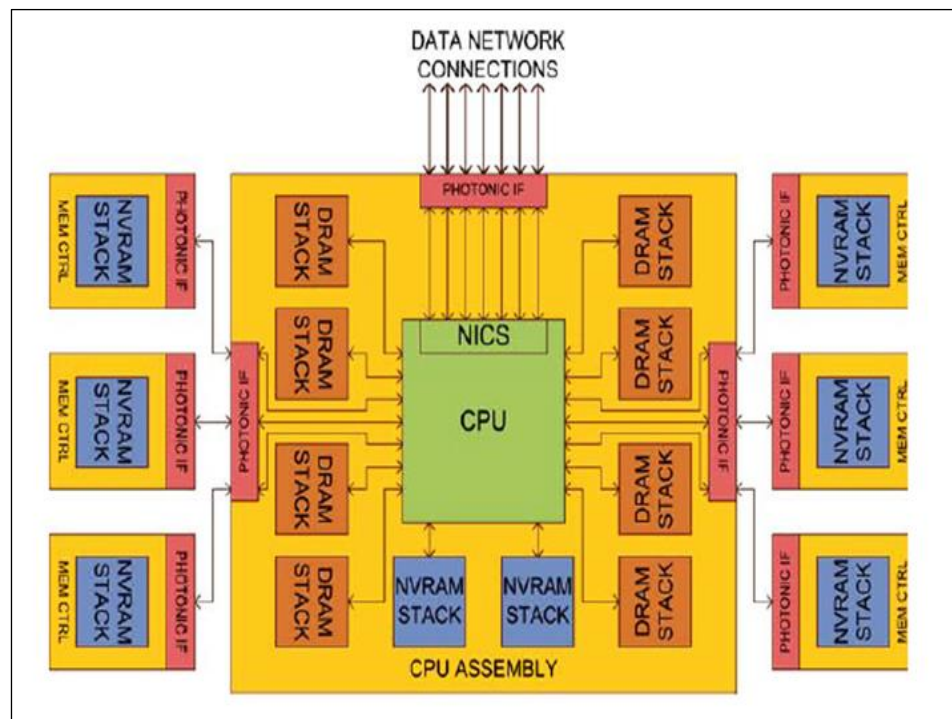


Рис.1 Структура возможного экзафлопного вычислительного узла с использованием фотонных устройств.

важным требованием к конструкции является обеспечение достаточно высокой скорости обмена информацией между памятью и процессором при затратах мощности на приемлемом уровне. Это будет достигнуто либо за счет размещения памяти непосредственно на процессоре, либо за счет ее размещения в самом корпусе процессора. Поскольку объем памяти, которую можно подключить таким образом, ограничен, дополнительная память будет обеспечиваться модулями памяти, подключенными к процессору через высокоскоростные оптические каналы.

Важный вопрос состоит в том, какова минимальная длина межсоединения для определенной скорости передачи информации, при превышении которой оптические технологии становятся экономически предпочтительнее соответствующих им электронных соединений. Хотя результаты исследований разных групп ученых сильно разнятся, нет разногласий в том, что при скорости передачи данных выше 20 Гбит/с оптические межсоединения в системах типа «плата-плата» должны заменять электрические, в которых требуется энергозатратное усиление для компенсации потерь при передаче сигнала.

3. Заключение

Ключевую роль в решении сложных задач технического развития оптических линий передачи информации должно сыграть все более активное использование фотонных интегральных схем (ФИС) и объединение технологий фотонной и электронной интеграции. Уже сегодня использование ФИС обеспечивает решение задачи снижения стоимости и эксплуатационных затрат в оптических линиях передачи информации большой дальности (более 100 км), между ЦОДами (от 1 до 100 км), между стойками (от 1 м до 2 км). Средой передачи для оптических сигналов в этих применениях является оптическое волокно. В соединениях между платами и внутри плат (от нескольких см до 1 м) наряду с оптическими волокнами могут использоваться многосердцевидные волноводы на основе фторсодержащих полимерных материалов [Ах-

манов 2021]. Приемопередатчики для таких систем связи изготавливаются с использованием ФИС в количестве от тысяч до миллионов образцов в год.

В России ведутся широкие исследования, разрабатывается и массово выпускается оборудование для сетей дальней связи и соединений между ЦОД. Однако, приемники и передатчики высокоскоростных когерентных систем связи российского производства изготавливаются за границей, поскольку в них используются ФИС, серийное производство которых в нашей стране отсутствует. Такое положение влечёт за собой зависимость отечественных производителей систем связи от зарубежных компаний и затрудняет обеспечение растущих требований к надежности сетевой инфраструктуры.

Таким образом, создание отечественной компонентной базы интегральной фотоники является критически важной задачей. Решение этой задачи без поддержки государства вряд ли возможно.

Литература

- Коньшев В.А., Леонов А.В., Наний О.Е., Старых Д.Д., Трещиков В.Н., Убайдуллаев Р.Р.* Тенденции и перспективы развития волоконно-оптических систем передачи информации. // Квантовая электроника. 2022; 57 (12): 1102
- Thraskias, C.A.; Lallas, E.N.; Neumann, N.; Schares, L.; Offrein, B.J.; Henker, R.; Plettmeier, D.; Ellinger, F.; Leuthold, J.; Tomkos, I.* Survey of Photonic and Plasmonic Interconnect Technologies for Intra-Datacenter and High-Performance Computing Communications. // IEEE Commun. Surv. Tutor. 2018, 20, 2758.
- Ахманов А.С., Соколов В.И., Панченко В.Я.* Высокоскоростные оптические шины передачи данных на печатных платах для микропроцессорных вычислительных систем. // Успехи кибернетики. 2021;2(2):21–28.
- Mekawey H., Elsayed M., Ismail Y., Swillam M.A.* Optical Interconnects Finally Seeing the Light in Silicon Photonics: Past the Hype. // Nanomaterials 2022, 12, 485.

ХРОНИКА

12 уверенных мужчин.

Какие темы фотоники обсуждали на форуме «Армия – 2023»

В рамках научно-деловой программы Международного военно-технического форума «Армия-2023» прошло более 120 мероприятий. Среди них большая часть была посвящена средствам технического вооружения, технологиям «искусственного



интеллекта», в том числе защите систем искусственного интеллекта от злонамеренных или случайных воздействий, вопросам кадровой политики и новым технологиям, которые перспективны для развития отраслей машиностроения, средств связи, медицины, обеспечения

производства электронных компонентов. Анализ прошедших научных и деловых мероприятий наверняка будут проводить профильные специалисты в заинтересованных организациях.

Для разработчиков и пользователей лазерных инструментов ярким событием стало заседание круглого стола **«Инновационные технологии и материалы для ОПК. Развитие кооперационных связей»**, которое организовала компания ЗАО «Региональный центр лазерных технологий» (г.Екатеринбург). Повестка содержала 12 докладов и охватила все проблемы производства изделий из титана и специальных сталей – от устойчивого поступления сырья до экономики использования титановых сплавов в отраслях хозяйствования страны, от способов использования технологий плазменной, лазерно-дуговой и лазерной обработки материалов в производстве изделий из титана до подготовки необходимых кадров. Содержание обсуждения вышло за рамки привычных сообщений о результатах обработки материалов машиностроения с помощью лазерных технологий. Последнее время отечественный промышленный рынок металлообработки живет в условиях больших вызовов и глобальных изменений. Для части игроков рынка эти вызовы, к сожалению, оказались фатальными, другие сумели адаптироваться, предложив нестандартные решения для сегментов своего бизнеса. Именно эти другие и составили аудиторию этого круглого стола.

Надо отдать должное модератору заседания круглого стола д.т.н. *Анатолию Георгиевичу Сухову* – ему удалось подобрать доклады. В центре обсуждения был вопрос комплексного подхода к изготовлению методами лазерных технологий специальной продукции из титана и сталей. Генеральный директор ЗАО «Титан» *Андрей Валентинович Александров* рассказал о важных особенностях развития производства титанового проката в России, а представитель ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» *Сергей Викторович Ладное* представил в своем докладе информацию об удельной доле использования титановых сплавов в отраслях экономики России. Такие сплавы и специальные стали существуют не сами по себе, а как материалы для ряда изделий промышленности и товаров повседневного

спроса. Потребность в использовании этих материалов обуславливает и потребности в технологиях для их обработки. Например, сильный импульс к росту доли обработки титана дают планы российского авиапрома по увеличению парка региональных, среднемагистральных и дальнемагистральных самолетов.

Из обсуждения стало видно, что как только начинают функционировать кластеры и организовываться межрегиональная кооперация, так сразу возникает широкий ряд инновационных продуктов. Зачин такой теме дал в своем выступлении председатель правления Промышленного кластера Республики Татарстан *Сергей Васильевич Майоров*. В любые времена компаниям важно найти новые и не потерять существующие контакты. А в период неопределенности, экономических и социальных кризисов роль межрегиональных коммуникаций возрастает.

Проникая в самые разные области применения, лазерные технологии дали возможность производителям эффективно решать вопросы резки и сварки одним инструментом, повышая эффективность процессов сборки новых изделий, минимизируя геометрические деформации конструкции, обеспечивая прослеживаемость изделия на всех этапах его жизненного цикла. Уровень готовности лазерных технологий достигает 9-10 уровней. Проблема их использования упирается в регуляторные барьеры и в отсутствие знаний о них у специалистов традиционных отраслей. Разработчики и производители лазерных инструментов сегодня проигрывают в информационной борьбе за популярность своей продукции на рынке потенциальных пользователей.

Поэтому важной темой разговора стал вопрос стандартизации лазерных технологий для обеспечения их выхода, а вернее сказать, входа в промышленные регистры сварочных процессов производства изделий кораблестроения и машиностроения. Отсутствие решения этого вопроса не просто тормозит развитие этих отраслей, но и снижает производительность техпроцессов и отбрасывает их на много лет назад от мирового уровня.

Другой важный вопрос – кадровое обеспечение отрасли. Борьба за человеческие ресурсы в условиях дефицита специалистов на рынке труда заставляет компании уделять все больше вни-



мания сохранению персонала и созданию траекторий карьерного развития. ЗАО «РЦЛТ», как следовало из доклада советника генерального директора предприятия *Сергея Михайловича Шанчурова*, делает много для того, чтобы выработать у сотрудников определенный кредит доверия к компании. В условиях, когда конкуренция между компаниями за трудовые ресурсы обостряется, «РЦЛТ» проводит набор и обучение новых кадров, обеспечивает набор студентов в колледж и университет по механообрабатывающим специальностям. В стенах Уральского федерального университета в 2015 году РЦЛТ открыл базовую кафедру «Лазерные технологии в машиностроении». У компании свои подходы к выстраиванию коммуникаций с потенциальными сотрудниками, в их числе организация экскурсий в цеха, проведение концертов в своих стенах.

В рамках заседания были рассмотрены инновационные материалы и технологии их обработки на основе электрофизических методов: от лазерных до плазменных и гибридных. Понятие традиционные и инновационные материалы – это сиюминутное определение. Коррозионная стойкость титана позволила этому материалу, начиная с 40-х годов XX века, потеснить алюминиевые сплавы на рынке материалов для авиации и специального машиностроения. А развитие высокопрочных и легких композитных материалов дало толчок к разработке титанокерамики для использования в деталях, работающих в экстремальных условиях. О новых материалах на основе титановых сплавов производства ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» рассказал руководитель инновационного проекта *Алексей Юрьевич Бусыгин*.

Однако обработка титана сложна и требует особого умения работы с ним. Широкий обзор потенциальных возможностей использования мощных полупроводниковых лазеров в обработке материалов был дан в докладе *Сергея Николаевича Соколова* (НПП «Инжект», Саратов). Созданный на предприятии «Инжект» мощный технологический диодный лазер PLD-6 с выходной мощностью излучения 6 кВт на длине волны 780-980 нм демонстрирует высокие результаты поверхностного термоупрочнения. В состав

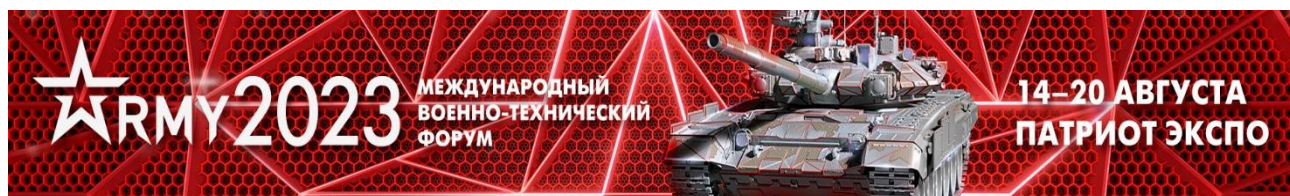


лазера входят 40 полупроводниковых инжекционных модулей с выводом излучения на световод через оптический соединитель. Модернизация лазера позволит использовать его для подводной резки металлов.

Эффективность работы мощных полупроводниковых лазеров во многом зависит от обеспечения процессов охлаждения элементов управляющей электроники. Моделирование и выбор систем обеспечения теплового режима лазерных модулей опирается на использование теплопровода, передающего тепловой поток от лазерного диода к теплообменнику. Соприкасающиеся поверхности тепловыделяющего элемента и радиатора не могут обеспечить полного плотного контакта, а образующиеся щели и неровности заполняет воздух. Воздух является теплоизолятором и блокирует отвод тепла от тепловыделяющего элемента. Тепловой контакт можно значительно улучшить, как это сделать – было показано в докладе *Юрия Ивановича Сакуненко*, генерального директора ООО «Инжиматик» (Москва, АСИ) «Применение теплорассеивающих реплик из тепловых метаматериалов для улучшения охлаждения и экранирования в печатных платах»

Выступление генерального директора компании «Лазерный центр» (Санкт-Петербург) *Сергея Георгиевича Горного* легло в фарватер мейнстрима проектного управления производством. Маркировка, которая позволяет проследить весь жизненный цикл изделия, будучи нанесенной с помощью надежных лазерных маркеров, облегчает учет и контроль изделий, логистику его прохождения по этапам технологического цикла. Технология исключает геометрическую деформацию изделий, снижает временные затраты.

Конечно, при резке металла лазер не является панацеей. В зависимости от решения технолога при обработке толстостенных объектов оптимальным инструментом, с точки зрения функциональности и эффективности, является плазма. Новые плазматроны для прецизионной резки металлов предложил *Сергей Владимирович Анахов*, заместитель генерального директора ООО НПО «Полигон» (г.Екатеринбург). Существенным решением для иных технологических процессов стала гибридная лазерно-дуговая сварка – процесс, в кото-



ром лазерный пучок и электрическая дуга одновременно воздействуют на одну общую сварочную ванну. Примеры ее использования продемонстрировал в своем докладе «Технологии лазерно-дуговой сварки для кораблестроения» Вячеслав Владимирович Осипов, начальник отделения промышленных лазерных и электрофизических технологий Санкт-Петербургского государственного морского технического университета.

В заседании круглого стола приняли участие не только специалисты ведущих предприятий, занимающиеся лазерными технологиями в судостроении, машиностроении, электронике, но и менеджеры проектного управления. По мне-

нию участников, такие встречи в форме бизнес-отраслевого мероприятия необходимы. Они направлены на установление коммуникаций с внешней целевой аудиторией, открывают возможности донести позицию компании на внешнюю аудиторию и решать свои бизнес-задачи.

Деловая программа «Армии 2023» включала ещё 5 мероприятий по тематикам фотоники: 3 круглых стола и научная сессия были посвящены квантовым технологиям и один круглый стол – аддитивным, но там речь шла пока не о бизнесе, а о технических возможностях и перспективах.

Н.Л.Истомина, РАН – ИТС ЛАС

ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ

Физики из ИТМО

совместно с партнерами из Лазерного Центра придумали новый подход к созданию защитных голографических меток

Лазерная технология позволяет создавать уникальные многоцветные объемные метки, которые можно наносить прямо на изделия из металла — например, на оборудование или запчасти — и тем самым защищать их от подделок. Такие голограммы не сотрутся, при этом, чтобы нанести метки, потребуется минимум оборудования. Как отмечают авторы разработки, метод надежнее, чем нанесение классических голографических наклеек, и обойдется дешевле.

Чтобы защищать от подделок изделия из металла, сегодня используют специальные голографические наклейки — защитные голограммы. Такие голограммы должны обладать определенным набором степеней защиты — например, включать скрытые изображения и визуальные эффекты или быть разрушаемыми. Последнее свойство им придает за счет многослойности — при попытке снять наклейку верхний слой разрушается и деформирует всю метку, поэтому ее нельзя использовать повторно. Но это работает не всегда: например, нагрев наклейку, можно бесследно открепить ее вместе с клеевым слоем.

Кроме того, сама технология изготовления голограмм на наклейках не обеспечивает уникальность. Голограммы делают методом тиснения с помощью мастер-матриц и производят сразу большими партиями. Создавать каждый раз новую матрицу для голограммы долго и дорого, поэтому уникальность обеспечивают топографическими методами — например, наносят на наклейку специальные номера или символы.



Существуют и прямые методы записи голографических защитных знаков, например интерференционный метод, при котором два пересекающихся ла-

зерных пучка формируют микронные и субмикронные структуры за счет своей интерференции. Но такой метод требователен к точности реализации и юстировке оптической схемы. Оптическая схема, как правило, состоит из множества оптических элементов, что также вынуждает соблюдать определенные условия записи — в частности, обеспечить стабильную температуру окружающей среды.

Но нанести метки можно и более простым способом — с помощью самоорганизации структур при воздействии лазерного излучения. До недавнего времени ученые не пробовали применять эту технологию для создания защитных голограмм с набором визуальных эффектов, которые могли бы быть воспроизведены на относительно больших масштабах (например, 1x1 см). Исследователи не учитывали взаимное влияние структур внутри отпечатка, а это приводило к нестабильности структур, ветвлениям и, соответственно, препятствовало созданию защитных признаков.

Что придумали в ИТМО

Ученые ИТМО предложили управлять периодическими структурами за счет непрерывного динамического изменения поляризации лазерного излучения. Это позволяет создавать сложные по геометрии периодические структуры и реализовать все визуальные защитные признаки.

В результате исследователям удалось разработать собственную технологию создания защитных голографических меток на металле. Метод позволяет создавать миниатюрные объемные защитные метки. При этом структуры получаются такими же, как и в интерференционной схеме, но для их создания потребуется меньше оборудования, поэтому производство будет проще и дешевле.

По словам авторов разработки, теперь не придется использовать дополнительные оптические элементы, как в двухпучковой схеме — поэтому процесс нанесения меток меньше подвержен внешним воздействиям.

Технология создания меток обеспечивает два уровня защиты. Первый, визуальный уровень, позволяет отличить оригинальное изделие по наличию

метки и особым визуальным эффектам: анимации, движению цвета, объему. Второй, структурный, означает наличие уникальной случайной структуры, которую невозможно повторить.

Дизайн метки разрабатывают в графическом редакторе. Готовый дизайн загружают в модуль, который управляет поляризацией лазерного излучения, и запускают маркировку на стали. Лазер наносит голографические метки на металлическую поверхность предмета. По сравнению с наклейкой, которая может стереться или отклеиться, метки нестираемые — они интегрируются в поверхность изделия и держатся до тех пор, пока не будет сошлифован сам металл. Поэтому метки можно уничтожить только повредив само изделие.

Что дальше

Метки можно использовать, чтобы защищать от подделок различные изделия из металла — например, часы или автомобильные запчасти. Считывать метки можно будет с помощью уже существующих сканеров.

«Сейчас скорость маркировки при нашем методе составляет 2,5 см² в минуту — это примерно столько же, как при цветной лазерной маркировке или технологии прямой лазерной интерференционной гравировки. Дальше мы планируем модернизировать модуль по управлению поляризацией лазерного излучения и увеличить производительность технологии — чтобы метки наносились за еще более короткое время. Мы проведем эксперименты на трение и износостойкость меток и адаптируем их под любую металлическую поверхность, сделаем метки многоцветными. Также мы хотим развить технологию создания случайных индивидуальных меток. Их структура подобна отпечаткам пальцев и ее невозможно будет повторить. Такие метки могут быть использованы для создания уникальных идентификаторов защитных голограмм», — рассказал один из авторов разработки, младший научный сотрудник Института лазерных технологий Михаил Москвин.

Елизавета Кокорина.

<https://news.itmo.ru/ru/science/photonics/news/13348/>

★ ★ ★

Из компьютерной игры на поле боя: плазменное оружие

Сначала немного теории. Если абстрагироваться от компьютерных шутеров, то достаточно непросто дать определение плазменному оружию. Заставить плазму концентрироваться в пучки высокой плотности и метать эту сущность через оружейные стволы получится только в фантастических фильмах.

Джоули к цели

Строго говоря, плазменным оружием или пушкой называют электротермические ускорители, разгоняющие снаряд посредством разряда плазмы между электродами. Другое название — плазменный рельсотрон. Разумеется, такие иг-

рушки требуют вагоны электроэнергии, уместающиеся в многотонных конденсаторах. Поэтому если плазменные пушки и появятся в серии, то в первую очередь на кораблях.

Но в иностранной литературе используется термин Plasma Weapons применительно к лазерным установкам. В чем здесь подвох? Все дело в комбинированном действии лазерного луча по цели, о чем пойдет речь чуть ниже.

PIKL Program. Наиболее смертоносной из американских программ создания лазерного оружия можно считать проект PIKL, стартовавший в 1992 году. Уровень разработчиков впечатляет — Лос-

Аламосская национальная лаборатория (конструкторы высокоимпульсного лазера с инфракрасной накачкой) и Лаборатория Армстронга, отвечающая за оценку воздействия оружия на биологически ткани. Последняя контора занималась проектами в интересах ВВС США.

В ходе работы над проектом PIKL (Pulsed Impulsive Kill Laser) или «Импульсный поражающий лазер» выявился необычный эффект воздействия на мишень. Заключается он в образовании плазменного шара, электроны которого поглощают лазерное излучение, а затем следовал взрыв, значительно увеличивающий поражающее действие по цели.

Первоначально плазма вообще не пропускала лазер, и никакого взрыва не случалось – фактически оружие самостоятельно формировало броню на объекте атаки. Но испытатели увеличили энергию лазерного импульса, облако плазмы моментально перегревалось и разряжалось взрывом. Собственно, именно по этой причине за рубежом прижился термин Plasma Weapons или плазменное оружие. Работая по цели лазером, установка формировала на объекте «поражающий элемент» в виде взрыва шара плазмы.

В 1992 году построили первый прототип лазерной (плазменной) установки PIKL Program, генерирующей импульсы в 100 Джоулей длительностью в 10 микросекунд. Изделие оказалось тяжелым, да еще и часто выходило из строя – в основном из-за разгерметизации контуров.

К 1993 году соорудили новый прототип меньших габаритов, «стреляющий» импульсами в 3–5 микросекунд с энергией в 126 Джоулей. Еще более мощную установку сделали к концу 1993 года – энергия импульса лазера достигала 300 Джоулей.

Для испытаний в Лаборатории Армстронга подготовили макеты целей, имитирующих человеческую кожу, а также кевларовые бронежилеты. Кожу заменяла намоченная замша, уложенная на блоки баллистического геля. Последний должен был имитировать человеческую плоть. Для испытания на мишени формировали лазерный луч размером 3 на 2 см.

Взрывной эффект наблюдался при работе лазерным импульсом в 400 Джоулей – на мишени зафиксировали давление в 25 атмосфер. Событие сопровождалось громким хлопком и вспышкой, словно имитатор поражал разрывной снаряд. Назвать такие повреждения фатальными нельзя, скорее, это были нелетальные травмы, хотя и очень чувствительные.

Дальнобойность лазера PIKL составляла до 2 км, при этом спектр использования был необычайно широк – разрушение динамической защиты бронетехники, поражение беспилотников, травмирование (а нередко и убийство) живой силы, а также разгон демонстраций. Изделие обладало несомненными плюсами – уникальной скоростью, бесшумностью, высокой точностью и дальнобойностью. Правда, защититься от такого оружия можно было простым облаком аэрозоля, а порой и дымовой завесой.



Pulsed Energy Projectile или **PEP**. Это следующий шаг американской программы лазерного (плазменного) оружия.

Набор эффектов аналогичный PIKL Program – невидимый лазер формирует на объекте плазменный взрыв, чем оглушает жертву, а также воздействует на нервную систему. Чаще всего мощное электромагнитное излучение вызывает кратковременный болевой шок, похожий на холодный ожог, и частичный паралич. У некоторых жертв наблюдались «двигательные эффекты, подобные последствиям от электрошока».

В отличие от классических нелетальных средств, плазменная пушка вполне может отправить на тот свет. Особенно если пациент страдает хроническими заболеваниями сердца или нервной системы. Это неудивительно, так как американцы планировали использовать PEP не против условно здоровых военных, а по неуправляемым толпам гражданских.

Установка PEP выполнена на базе внедорожника HMMWV, тянет на 230 кг и способна работать по целям на удалении 2 км. Высокоэнергетический инфракрасный лазер, как и в PIKL Program, выполнен на фториде дейтерия и невидим для человеческого глаза. Это добавляет саспенса при разгоне толпы – никто не видит, откуда работают правоохранители, что еще больше затрудняет ориентацию.

Программу, стартовавшую в 2000-х годах, прикрыли, якобы сославшись на излишнюю жестокость. На самом деле авторы не могли точно настроить оглушающий и болевой эффекты оружия. Если хорошо глушило ударом плазмы, то болевой эффект от электромагнитного импульса был за пределами. Как только снижали болевое воздействие до приемлемого, оглушение как таковое вообще отсутствовало.

Вместо тысячи солнц

Plasma Acoustic Shield или **PASS** представляет собой оружие нелетального действия, в основе которого также лежит твердотельный лазер. Принцип действия схож с вышеописанными установками – лазер первым импульсом создает в воздухе облако плазмы, а вторым импульсом подрывает со сверхзвуковой скоростью. Разработчики уверяли, что могут создать оглушающий фейерверк перед любым объектом.

Скорострельность до 10 импульсов в секунду, что должно остановить самого решительного злоумышленника. Потенциально увеличение до 200 выстрелов в секунду позволяет перешагнуть порог нелетальности и убить человека.

Разработчик Stellar Photonics сконструировал PASS с 2005 года, и все было хорошо, пока речь не заходила об источниках питания прожорливой лазерной установки. Вес изделия в самом совершенном варианте достигал 230 кг, что требовало мобильную установку-носитель. Но даже в этом случае запас выстрелов был ограничен – перезарядка батарей требовала уйму времени.

Хотя, конечно, эффективность использования была замечательной – в некоторых вариантах можно было серией взрывов рисовать символы в воздухе. Или бить специальными импульсами по ветровому стеклу приближающихся автомобилей. Например, на блокпостах. Только фейерверк был недолгим.

В 2008 году военные справедливо отвергли PASS по причине чрезмерной стоимости, прожорливости и массивности. Простая очередь из автомата в воздух будет иметь больший эффект, чем целый HMMWV с лазером на крыше.

Но американцы не успокоились, и в 2018 году приступили к проекту *SCUPLS* или *Scalable*

Compact Ultra-Short Pulse Laser System. Поработали над длиной волны лазера – теперь он безопасен для сетчатки глаза. Лазер бьет на один километр и создает светового шума эффект уровнем 165 децибел. Это примерно как оказаться около сопла взлетающего реактивного самолета.

Логика работы прежняя – первый импульс создает плазменное облако, второй его разогревает до детонации. Разработчики уверяют, что таким алгоритмом можно передавать на расстояние даже команды. Например, требование остановиться. Для этого предусмотрен специальный низкоуровневый режим работы. Если объект не понял, то получает весь спектр лазерно-плазменного оружия – фейерверк (интенсивность 6–8 млн кандел), оглушение, дезориентацию, паралич и холодные ожоги на коже.

Все вышеописанное до поры до времени относится к разряду нелетального оружия. Но стоит только подкрутить настройки, найти соответствующие аккумуляторы – и плазменное оружие превращается в боевое. С непредсказуемым эффектом на поле боя.

Евгений Федоров

<https://topwar.ru/223524-iz-kompjuternej-igry-na-pole-boja-plazmennoe-oruzhie.html>

★ ★ ★

В академии РХБЗ разработали новый материал, полностью скрывающий военнослужащего от тепловизора

В военной академии РХБЗ разработали новый особый материал, способный полностью скрыть военнослужащего от тепловизоров. На основе данного материала уже создана специальная накидка для военных, говорится в материале, предоставленном в рамках международного форума «Армия-2023».

В одной из научных рот академии РХБЗ создали новый материал, скрывающий военных от работы тепловизора. Материал состоит из трех слоев, где внутренний отражает выделяемое телом тепло (инфракрасное излучение), средний слой его поглощает, а внешний отражает излучение внешней среды. В итоге тепловизоры не видят человека, использующего накидку из нового материала.

Разработана и экспериментально оценена накидка для военнослужащего, позволяющая полностью скрыть его след от работы тепловизоров и дронов с тепловизионными камерами – заявили военные.

Накидка имеет капюшон, скрывающий голову военного, также в комплект входят специальные очки, позволяющие вести наблюдение за противником, при этом самому оставаясь невидимым для оптических и инфракрасных приборов наблюдения.

Стоит отметить, что в последнее время средства маскировки разрабатываются весьма активно, поскольку прогресс средств наблюдения тоже не стоит на месте, быстро развиваясь. И если для маскировки в оптическом диапазоне придуманы различные камуфлирующие ткани, то скрыть человека от инфракрасного излучения довольно тяжело, поскольку тело выделяет тепло, а при ин-



тенсивной работе его выделение только нарастает. Пока единственный способ спрятаться от тепловизора – это экранировать выделяемое ИК-излучение. Разработки в этом направлении ведутся во всех передовых странах, включая Россию. Самое главное, что бы новые разработки не лежали на полку в хранилище, а активно внедрялись в армию, спасая жизни российских солдат.

<https://topwar.ru/223980-v-akademii-rhbx-razrabotali-novyj-material-polnostju-skrывajuschij-voennosluzhaschego-ot-teplovizora.html>

Инновация в тепловидении поможет роботам видеть в полной темноте, как днем

Ученые из Университета Пердью разработали и запатентовали метод HADAR TeX vision, который улучшает машинное зрение и его способность воспринимать окружающее пространство. Эта технология позволяет обнаруживать и определять объекты пассивно через тепловое излучение. HADAR восстанавливает текстуры и глубину даже в условиях ограниченной видимости, превращая тьму в ясное изображение. Его можно применять в автоматизированных транспортных средствах и роботах.

Традиционные активные сенсоры, такие как LiDAR (лазерное обнаружение и измерение), радар и сонар, испускают сигналы, а затем принимают их для сбора трехмерной информации о пространстве. У этих методов есть недостатки, которые проявляются при масштабировании, например, помехи сигнала и опасности для здоровья глаз человека. В сравнении с этими методами, видеокamеры, которые работают на основе солнечного света или других источников освещения, имеют преимущества. Но серьезным препятствием остаются условия слабой освещенности — ночное время, туман или дождь.

Традиционное тепловидение — это полностью пассивный метод обнаружения, который собирает невидимое тепловое излучение, исходящее от всех объектов в пространстве. Но некоторые фундаментальные проблемы препятствуют его использованию сегодня.

«Предметы и окружающая среда постоянно испускают и рассеивают тепловое излучение, что приводит к созданию изображений без текстур. Это называется «эффект призрака». Тепловые снимки лица человека показывают только контуры и некоторые различия в температуре, они не содержат деталей, что и делает их похожими на призраков. Эта потеря информации, текстур и особенностей становится проблемой для машинного распознавания на основе теплового излучения — объяснил научный сотрудник и один из разработчиков Фанглин Бао.

HADAR объединяет теплофизику, инфракрасное изображение и машинное обучение. Благодаря

этому датчик способен восстанавливать текстуру из зашумленных тепловых сигналов и точно разделять температуру, излучательность и текстуру всех объектов в пространстве. Он способен видеть текстуру и глубину даже в условиях ограниченной видимости, как будто это день, а также воспринимать физические характеристики, выходящие за пределы стандартных видимых изображений (RGB) или традиционного теплового зондирования.

Команда протестировала зрение HADAR TeX в ночном бездорожье. HADAR преодолел «эффект призрака» и восстановил мелкие текстуры — водную рябь, морщины коры, траву и водопропускные трубы.

Но и у этого устройства есть недостатки. Нынешний датчик большой и тяжелый, поскольку алгоритмы HADAR требуют многоцветного невидимого инфракрасного излучения. Чтобы применить устройство к беспилотным автомобилям или роботам, нужно сделать его меньше и доступнее по цене, а также ускорить работу камер. Сейчас сенсор создает одно изображение в секунду, но для автономных автомобилей нужна скорость съемки от 30 до 60 кадров в секунду (герц) для плавной работы системы.

Технология HADAR TeX vision должна найти применение в автоматизированных транспортных средствах и роботах, которые работают в сложных условиях и взаимодействуют с людьми. Однако данная технология может быть также адаптирована для использования в сельском хозяйстве, обороне, геолого-геофизических исследованиях, здравоохранении и наблюдении за дикой природой.

<https://luckyea77.livejournal.com/4791858.html>



Республиканская научно-практическая конференция

«Проблемы и перспективы оптики и лазерной физики»

26 октября 2023г., Ташкент, Узбекистан,

Институт ионно-плазменных технологий им. У.А.Арифова

2-е сообщение (1-е - в «Л-И» № 13 (748), июль 2023)

Внимание! Изменены сроки:

Крайний срок регистрации – 01 октября 2023г.

Крайний срок подачи тезисов докладов – 01 октября 2023г.

Контакты:

тел.: +998 71 262 31 69; факс: +998 71 262 32 54

Веб-сайт: <http://conf.optics-2023.iplt.uz>



Извещение о Конкурсе выпускных квалификационных работ

С целью повышения качества подготовки специалистов путем создания дополнительных мотиваций выпускникам высших учебных заведений страны для реализации своего научно-исследовательского и производственного потенциала на отечественных предприятиях Лазерная ассоциация проводит ежегодный конкурс выпускных квалификационных работ (ВКР) по тематике фотоники и лазерных технологий и их применений. Принимаются ВКР всех уровней подготовки специалистов – от бакалавриата до аспирантуры.

Основные критерии оценки: ▶ актуальность; ▶ технический уровень разработки и возможность её реализации на отечественных предприятиях и в организациях; ▶ наличие соответствующей тематике формулировки целей и задач; ▶ корректность и степень оптимальности принятого в работе метода исследования или подхода к выбору конструкторского решения; ▶ ясность, четкость, последовательность и обоснованность изложения; степень полноты и достаточности расчетов, методик и описаний; ▶ корректность выполненных расчетов, методик, описаний и оценки метрологических характеристик; ▶ оценка степени полноты решения поставленной задачи; ▶ наличие анализа результатов работы и рекомендаций по их реализации; ▶ новизна используемой научно-технической информации и оригинальность выработанного на её основе решения; ▶ качество оформления; апробация результатов работы и их практическая ценность.

В качестве экспертов, оценивающих качество и инновационную ценность конкурсных работ, привлекаются представители профильных ВУЗов и предприятий-потребителей данных видов техники и технологий, в том числе члены Коллегии национальных экспертов стран СНГ по лазерам и лазерным технологиям.

Итоги Конкурса подводит Научно-технический совет Лазерной ассоциации.

С условиями проведения Конкурса и Положением, определяющим порядок его проведения и требования к конкурсной документации, можно подробно ознакомиться на сайте ЛАС (www.cislaser.com).

Сроки представления на Конкурс материалов выпускных квалификационных работ 2023 года – до **29 декабря 2023 года**.

Оглашение итогов и награждение победителей
состоится на Международной выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики» в Московском Экспоцентре (март 2023г.).

Победители и призеры Конкурса награждаются дипломами и ценными подарками.

Научно-технический совет Лазерной ассоциации

«Лазер-Информ»
Издание зарегистрировано в
межведомственной комиссии
МГСНД 26.12.91. Рег. № 281
© Лазерная ассоциация.
Перепечатка материалов и их
использование в любой форме
возможны только
с разрешения редакции.

*Отпечатано в НТИУЦ ЛАС
Тираж 500 экз.*

Главный редактор
И.Б.Ковш
Редактор Т.А.Микаэлян
Ред.-издательская группа:
Т.Н.Васильева
Е.Н.Макеева

Наш адрес:
117342, Москва, ул. Введенского, д.3, ЛАС
Тел: (495)333-0022 Факс: (495)334-4780
E-mail: info@cislaser.com
<http://www.cislaser.com>
Банковские реквизиты ЛАС:
р/с 40703810538000006886
В ПАО «Сбербанк» г.Москва
к/с 30101810400000000225
БИК 044525225