

Работы по голографии в России и за рубежом и их представление на Международных научно-технических конференциях „ГОЛОЭКСПО“

Развитие микро-нанопотоники и оптоэлектроники, частью которых является оптическая голография, в настоящее время относится к приоритетным задачам научно-технического прогресса. В последние годы много внимания как в России, так и за рубежом уделяется активному внедрению голографических технологий и методов в самые различные отрасли оптической и оптико-электронной науки и техники.

Его примерами могут служить развитие защитной голографии с получением цветных 3D изображений, применение голограммных и дифракционных оптических элементов (ГОЭ-ДОЭ) в 3D-дисплеях и системах отображения изображений (очки виртуальной и дополненной реальности AR, VR, MR), применение компьютерных методов синтеза голограмм для отображения информации и в изобразительной голографии и многое другое.

В связи с этим ежегодные Международные научно-технические конференции „ГОЛОЭКСПО“ (начиная с 2004 г.) являются очень своевременными и актуальными научно-техническими мероприятиями, которые позволяют оценить состояние рынка голографической продукции, новейших научно-технических разработок в области голографии и определить основные направления её развития. Конференции органично сочетают в себе производственный потенциал, инженерные и научные идеи, предпринимательские интересы.

При проведении конференций „ГОЛОЭКСПО“ основными научно-техническими вопросами были следующие:

- 1) технологии в области записи и изготовления защитных голограмм;
- 2) формирование изображений и отображение информации с помощью голограммной и дифракционной оптики как элементов оптических систем;
- 3) голограммные и дифракционные оптические элементы (ГОЭ-ДОЭ), методы их компьютерного синтеза и технологии их изготовления с использованием фотоматериалов, метаматериалов, плазмонных структур и др.;
- 4) трехмерная и изобразительная голография, новые фоточувствительные материалы для голографии;
- 5) голографическая интерферометрия, оптико-голографическая архивная память, оптико-голографическая обработка информации и сигналов.

В среднем число участников ежегодной конференции „ГОЛОЭКСПО“ составляет 100 человек, на конференции обычно представлено от 40 и до 60 докладов. Таким образом, после проведения 17 конференций число участников превысило 1000 человек, а общее число докладов более 700, что представляет собой внушительный объем научно-технической информации.

По мнению организаторов и участников конференции „ГОЛОЭКСПО“, за прошедшие 16 лет (2004–2020 гг.) сформировалось несколько мировых трендов и актуальных направлений научно-технического развития оптической голографии.

Как было отмечено на XVII конференции „ГОЛОЭКСПО-2020“, которая прошла 8–9 сентября 2020 г. в Москве, среди наиболее актуальных направлений следует отметить два наиболее крупных.

1. Цифровая голография (DH — digital holography), появление которой обусловлено технологическими успехами в области создания и внедрения в практику новейших крупноформатных фотоматриц (КМОП-структур) с размерами пикселей в пределах 1–2 μm и их количеством до 10^8 , что позволяет в реальном времени регистрировать „живые“ интерференционные картины — структуры размерами до $20 \times 20 \text{ mm}$ с пространственными частотами до 500 mm^{-1} (период интерференционных полос 2 μm), а в перспективе и до 1000 mm^{-1} (период интерференционных полос — 1 μm). Это позволяет избавиться от фоточувствительных материалов и сложного процесса их фотохимической постобработки, что значительно упрощает процесс регистрации интерференционных картин-структур и позволяет использовать методы цифровой голографии непосредственно для записи амплитудно-фазовой информации об оптических полях в видимом, инфракрасном и терагерцовом диапазонах длин волн. Кроме того, использование современных специализированных алгоритмов цифровой обработки интерференционных картин в компьютере значительно улучшает качество и формирование „бесшумовых“ структур, доводя их качество практически до идеального с возможностью их кодирования, преобразования и передачи по любым каналам связи.

2. Компьютерный синтез голограмм (CGH — computer generation of holograms), появление современных методов которого обусловлено, с одной стороны, появлением быстродействующих алгоритмов расчета и представления в цифровом сжатом виде интерференционных картин, позволяющих при последующем „восстановлении“ оптических полей математически устранить ненужные порядки дифракции (например, 0-й) или выделить только один или несколько требуемых порядков; с другой стороны, технологическими успехами в области создания и внедрения в практику мегапиксельных пространственных модуляторов света (ПМС на основе ЖК структур, dmd-микросервал с

числом элементов до 10^7), позволяющих в реальном времени вводить в оптические каналы (пучки) компьютерно-синтезированные голограммы (КСГ), голограммные и дифракционные оптические элементы (ГОЭ-ДОЭ), формирующие волновые фронты оптического излучения требуемого качества и практически любой сложности (плоские, сферические, асферические и др.).

Первое направление — цифровая голография — привело к появлению новых применений голографии, в частности, к внедрению методов цифровой голографии в оптическую микроскопию при биомедицинских исследованиях живых (и неживых) клеток, организмов, частиц, которые в сочетании с методами компьютерной томографии привели к созданию нового направления, называемого оптико-голографическая микроскопия. В настоящее время создаются цифровые голографические камеры (ДНС — Digital Holographic Camera) для исследования живых или неживых микро-наночастиц и объектов, что позволяет в реальном времени регистрировать частицы в их естественной среде обитания, определять их размеры, форму, ориентацию и пространственное положение каждой частицы в объеме, проводить идентификацию микро-наночастиц и отображать 3D-изображения частиц на экранах мониторов в реальном времени.

Второе направление — компьютерный синтез голограмм — не только привело к появлению современных мегапиксельных ПМС, но дало толчок к разработке и внедрению новых технологических приемов по созданию новой оптической элементной базы в виде КСГ, ГОЭ, ДОЭ, называемой в настоящее время голограммной и дифракционной микро-нано-оптикой. Разработка таких голограммных элементов микро-нанооптики потребовала внедрения методов лазерной литографии (в том числе с помощью фемтосекундных лазеров), электронно-лучевой литографии и новых фотоматериалов, метаматериалов с необычными свойствами, включая плазмонные эффекты (дифракционная плазмоника), технологию создания новых ГОЭ-ДОЭ, что привело к появлению новых скоростных литографических установок и технологических процессов.

Переходя к более конкретным исследованиям, можно сформулировать следующие актуальные темы в оптической голографии:

1) в области защитной голографии — разработка новых защитных признаков, в том числе связанных с формированием цветных голографических объемных 3D-изображений с элементами движения и динамики, цветных скрытых изображений, комбинирование цветных объемных 3D-аналоговых изображений с цифровыми изображениями, а также внедрение в практику защитной голографии новых материалов, таких как фотополимеры, метаматериалы, плазмонные дифракционные решетки и др.);

2) в области создания дифракционных и голограммных оптических элементов для голографической интерферометрии и микроскопии, корреляционных систем распознавания изображений и голографической памяти — широкое внедрение компьютерных методов моделирования и цифрового синтеза голограмм, получение цифровых голографических фильтров, методов записи цифровых голограмм с помощью современных матричных фотоприемников и др.;

3) в голографической микроскопии:

- запись структуры голограммы (интерференционной картины) с помощью мегапиксельных фотоприемников;
- цифровая реконструкция комплексной амплитуды (интенсивности и фазы) волн объекта;
- создание фазового портрета объекта;
- интерферометрическое сравнение различных кадров;

• использование цифровой голографии в микроскопии позволяет осуществлять 3D-просмотр и интерферометрическую реконструкцию фазовой информации волнового фронта, а следовательно, и наноразмерного продольного разрешения;

• голографические методы позволяют проводить количественные измерения с поперечным разрешением 200 nm и продольным 10 nm.

4) разработка и создание новых голографических датчиков волнового фронта, в том числе на основе компьютерно-синтезированных голограмм Фурье и ПМС, что позволяет повысить точность измерения волновых aberrаций лазерных пучков до величин порядка $\lambda/50$;

5) разработка систем и устройств отображения оптической информации на основе компьютерно-синтезированных голограмм нового поколения, ГОЭ, ДОЭ в частности, создание 3D-дисплеев, индикаторов знако-символьной информации типа очков виртуальной и дополненной реальности (AR-VR-очки); в настоящее время число компаний и фирм, занимающихся „голографическими“ очками и индикаторами дополненной реальности (AR-очки + индикаторы) превысило 100 с объемом инвестиций до 100 млн. долларов США в год;

6) в области изобразительной голографии — широкое внедрение компьютерных методов синтеза цветных 3D-цифровых голограмм, а также создание мобильных лазерных установок для записи цветных голограмм уникальных объектов истории и искусства по методу Ю.Н. Денисюка.

Это только основные направления и темы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Проведение конференций „ГОЛОЭКСПО“ невозможно без поддержки и помощи спонсоров, которую много лет оказывают различные предприятия. Особо следует выделить лидера отечественного рынка голографических технологий АО „Научно-производственное объединение „КРИПТЕН“ (Дубна, Московская область, ген. директора

А.И. Чепурной, А.Л. Лисовский), являющееся генеральным спонсором конференции „ГОЛОЭКСПО“ на протяжении 2009–2020 гг. Также помощь оказывают предприятия и НИИ отечественного оптико-электронного приборостроения: АО „Красногорский завод им. С.А. Зверева“; АО НПО „Государственный Институт прикладной оптики“, Казань), отечественные и зарубежные компании голографической индустрии ООО „ХолоГрэйт“ (генеральный директор Е.Н. Богачевская, Санкт-Петербург), ФГУП „НТЦ „Атлас“ (директор А.Н. Махров, Москва), ООО „Джеймс Ривер Бранч“ (директор А.Ф. Смык, Москва), ЗАО „Голографическая индустрия“ (директор А.Г. Бобореко, председатель совета директоров Л.В. Танин, Минск, Республика Беларусь), ООО „Оптико-голографические приборы“ (Москва).

Научную поддержку при проведении конференций „ГОЛОЭКСПО“ оказывают ведущие университеты и институты России, такие как МГТУ имени Н.Э. Баумана (Москва), университет ИТМО (Санкт-Петербург), Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П. Королева, НИЯУ „МИФИ“ (Москва), Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“ имени В.И. Ульянова (Ленина), Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН (ФИАН, Москва), ВНИИ Оптико-физических измерений (Москва), АО НПО „Государственный институт прикладной оптики“ (Казань), Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург), Институт систем обработки изображения РАН — филиал ФНИЦ „Кристаллография и фотоника“ РАН (Самара), Институт автоматики и электрометрии (Новосибирск).

Информационную поддержку оказывают журналы „Фотоника“ (Москва), „Контенант“ (Красногорск), „Мир техники кино“ (Москва).

В дальнейшем также планируется ежегодное проведение конференций ГОЛОЭКСПО.

С.Б. ОДИНОКОВ

Председатель программного и организационного
комитетов конференции „ГОЛОЭКСПО“
д-р техн. наук, профессор
odinokov@bmstu.ru

В.Ю. ВЕНЕДИКТОВ

Зам. председателя программного комитета
конференции „ГОЛОЭКСПО“
д-р физ.-мат. наук, профессор
vlad.venediktov@mail.ru