

1. Перспективы применения голограммных и дифракционных элементов в оптических системах приборов визуального наблюдения, прицеливания и дополненной реальности

С. Б. Одинокоев, А. Б. Соломашенко, Я. А. Град, В. В. Николаев, Н. В. Пирютин, В. Е. Талалаев
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Представлен обзор современных систем визуального наблюдения, прицеливания и дополненной реальности, построенных на основе голограммных и дифракционных оптических элементов, и проведен их анализ. Рассмотрены схемы построения таких устройств, их преимущества и технические параметры устройств на их основе. Приведены результаты собственной разработки системы дополненной реальности на основе световодных пластин с дифракционными решетками.

Ключевые слова: Дифракционные оптические элементы, Дифракционные решетки, Дополненная реальность, Световодная пластина, Оптическая система.

Цитирование: Одинокоев, С. Б. Перспективы применения голограммных и дифракционных элементов в оптических системах приборов визуального наблюдения, прицеливания и дополненной реальности / С. Б. Одинокоев, А. Б. Соломашенко, Я. А. Град, В. В. Николаев, Н. В. Пирютин, В. Е. Талалаев // HOLOEXPO 2018 : XV международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — С. 11–13.

Введение

Дополненная реальность представляет собой наблюдаемую нами реальность, к которой с помощью компьютерных средств добавляются цифровые данные в режиме реального времени, для того чтобы дополнить окружающее нас пространство или предметы. В совокупности с развитием цифровых и мультимедийных технологий подобные устройства находят все большее применение в различных отраслях, и спрос на них с каждым годом неуклонно растет. Существует реальная потребность разработки дисплеев на основе световодных пластин и для их последующего возможного применения в таких сферах как логистика, связь, авиация, медицина, производство, ремонт и техническое обслуживание и т. п. Благодаря тому, что выводимая голографическим индикатором картинка будет накладываться на изображение реальной сцены, это устройство позволит, например, отображать карту местности, информацию о дорожной ситуации, маршрут до места назначения, параметры движения транспортного средства, что существенно упростит и сделает более безопасным его управление. Возможность вывода необходимой информации о расположении товаров на складах и на логистических предприятиях в совокупности с одновременной возможностью считывания штрих- или QR-кодов позволит существенно упростить и ускорить работу обслуживающего их персонала, как и вывод контекстных подсказок во время сборки и ремонта сложных агрегатов, транспортных средств и т. п. соответствующими специалистами.

Мировыми лидерами и производителями в области устройств дополненной реальности на данный момент являются компании: Microsoft (США), Daqri (США), Epson (Япония), Vuzix (США), Google (США), Sony (Япония), BAЕ systems (Великобритания). Основными продуктами первых трёх компаний являются следующие устройства: Smart glasses (Daqri), Hololens (Microsoft), Moverio BT-200 (Epson).

Это системы, в которых необходимая информация выводится с помощью оптических систем на основе голограммных и дифракционных оптических элементов (ГОЭ-ДОЭ), и системы на основе традиционных оптических элементов (полупрозрачные зеркала, призмы и т. п.). Использование традиционных оптических элементов приводит к ограничению размеров выходного зрачка, который, не превышает 14 мм при максимальном размере рабочего углового поля в 23 градуса, использование же оптических систем на основе ГОЭ-ДОЭ позволяет увеличить рабочее поле до 44 градусов и увеличивает выходной зрачок таких систем дополненной реальности до 25 мм. Это обеспечивается благодаря тому, что выходной зрачок оптической системы не просто проецируется в плоскость расположения глаз оператора, а увеличивается до необходимых размеров за счет наличия световодной пластины, что приводит к снижению массогабаритных параметров устройства дополненной реальности и делает его более компактным [1–3]. В связи с этим перспективными представляются устройства дополненной реальности на основе световодных пластин и ГОЭ-ДОЭ, в силу большего рабочего поля и увеличенного выходного зрачка.

В [2] описан монохромный дисплей компании BAЕ System (Великобритания). При прохождении излучения вдоль каждого из световодов, оно мультиплексируется вдоль одной из осей. Для ввода и вывода излучения в каждом световоде имеются дифракционные решетки. Излучение, проходя через первый световод, попадает на плотно прилегающую к нему поверхность второго световода, на поверхности которого получена дифракционная решетка. Это излучение является для решетки восстанавливающим. Таким образом, излучение первого порядка дифракции входит во второй световод и распространяется вдоль него. После этого с помощью другой решетки излучение выводится из подложки и формирует для наблюдателя увеличенное

изображение выходного зрачка проекционной системы. Рабочее угловое поле такой системы составляет $35^\circ \times 25^\circ$ при размере выходного зрачка 18 мм.

В [3] представлен монохромный дисплей, включающий в себя стеклянную пластинку, на которой в слое тонкой фоторезистивной среды получены три дифракционные решетки различного периода, полученные вместе на одной прозрачной подложке. Первая решетка вводит излучение в подложку под углом полного внутреннего отражения. Вторая решетка «разворачивает» падающее на нее излучение на 90° , реализуя при этом принцип мультиплексирования зрачков по одной координате. Третья решетка обеспечивает вывод излучения из подложки в сторону наблюдателя. Данная система является монохромной, но в отличие от предыдущей реализована на одной пластине.

Для реализации многоцветных систем используются мультиплексированные дифракционные решетки, рассчитанные под каждую из RGB-компонент, что на практике снижает дифракционную эффективность каждой отдельной решетки, либо применяются три отдельных волновода для каждой из RGB-компонент [4], что увеличивает толщину и усложняет технологический процесс изготовления из-за необходимости точного совмещения трех подложек. При этом на первый план при их разработке и реализации выходит компенсация хроматических aberrаций, связанных с распространением в световоде излучения R, G, B-компонент под разными углами, в силу различных углов дифракции излучения на входе в световодную подложку, а также вопросы определения оптимальных параметров самой подложки, из которой изготовлен световод. Наиболее известная на данный момент система дополненной реальности HoloLens (Microsoft) построена как раз с использованием трех склеенных волноводов и является цветной (размер рабочего углового поля по диагонали составляет 44 градуса).

В 2012 году компании SBG Labs и Rockwell Collins начали разработку малогабаритного дисплея на основе переключаемых Брэгговских решеток. Переключаемые Брэгговские решетки обладают высокой (до 90 %) дифракционной эффективностью и хорошим пропусканием на просвет, но в отличие от статических переключаемых решеток (параметры которых не изменяются), переключаемые решетки гораздо более сложны в изготовлении. К основным недостаткам данной схемы можно отнести сложность изготовления управляющих электродов, на которые подается напряжение в активном режиме их работы, что дополнительно усложняет

схему самого устройства и соответственно повышает его стоимость по сравнению со статическими дифракционными решетками.

В системах компании Lumus (США) осуществлена реализация на основе склеенной стопки зеркал с различным коэффициентом отражения. Данная стопка имеет вид плоскопараллельной пластины, внутри которой излучение распространяется под действием ПВО, а попадая на частично отражающее зеркало, выводится пользователю. При этом зеркала имеют хорошее пропускание на просвет, а такие системы могут составить конкуренцию световодам с ГОЭ-ДОЭ, хотя технология их изготовления существенно сложнее.

Исследования в области применения голограммных и дифракционных элементов в оптических системах приборов визуального наблюдения, прицеливания и дополненной реальности ведутся многими научными коллективами на территории РФ, в том числе в МГТУ им. Н. Э. Баумана [5]. Основной проблемой, возникающей при разработке подобных систем с ДОЭ, является наличие хроматических aberrаций и спектрального размытия изображения при использовании светодиодной подсветки LCOS- или DLP-дисплеев, т. к. даже в случае монохромного исполнения спектральная ширина отдельных составляющих может достигать 50–60 нм. Кроме того, на размер рабочего углового поля системы оказывают влияние показатель преломления и толщина оптического стекла, из которого изготовлен световод. На данный момент разработан макетный образец монохромного и цветного монокулярного устройства отображения информации и визуализации со следующими параметрами: размер выходного зрачка 25 мм, рабочего углового поля 30° по диагонали (для монокулярного исполнения).

Таким образом, можно утверждать, что на данный момент наиболее активно развиваются системы отображения информации и дополненной реальности на основе световодов с дифракционными решетками. Данные световоды могут включать в себя одну или несколько плоскопараллельных пластин для увеличения выходного зрачка по двум направлениям, обеспечивают большие угловые поля, коэффициент пропускания и размер выходного зрачка, а также получение цветного изображения. Благодаря этому подобные элементы могут применяться в таких областях как: наשלменные системы отображения информации для пилотов вертолетов и экипировки солдат; системы отображения информации для автомобилей; системы дополненной реальности.

Список источников

- [1] **Peng, H.** Design and fabrication of a holographic head-up display with asymmetric field of view / H. Peng, D. Cheng, J. Han, C. Xu, W. Song, L. Ha, J. Yang, Q. Hu, Y. Wang // *Applied Optics*. — 2014. — Vol. 53. — № 29. — P. H177–H185.
- [2] **Cameron, A.** Optical Waveguide Technology & Its Application In Head Mounted Displays / A. Cameron // *Proceedings of SPIE*. — 2012. — Vol. 8383. — P. 83830E.
- [3] **Golub, M.** Planar configuration for image projection / M. Golub et al. // *Applied Optics*. — 2006. — Vol. 45. — № 17. — P. 4005–4011
- [4] **Li, G.** Full Color Holographic Optical Element Fabrication for Waveguide-type Head Mounted Display Using Photopolymer / Li G. et al. // *Journal of the Optical Society of Korea* — 2013. — Vol. 17. — № 3. — P. 242–248

- [5] **Одиноков, С. Б.** Оптическая схема получения голографического индикатора для отображения знаково-символьной информации / С. Б. Одиноков, В. В. Маркин, Д. С. Лушников, А. С. Кузнецов, Е. А. Дроздова, А. Б. Соломашенко // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». — 2012. — № 8. — С. 158–166.

Prospects of using hologram and diffraction elements in optical systems of visual observation, sighting and augmented reality devices

S. B. Odinokov, A. B. Solomashenko, Y. A. Grad, V. V. Nikolaev, N. V. Piryutin, V. V. Talalayev
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

The review of modern systems of visual observation, sighting and augmented reality based on holographic and diffractive optical elements is presented, and their analysis is carried out. The schemes of construction of such devices, their advantages and technical parameters of devices based on them are considered. The results of the own development of augmented reality system based on lightguide plates with diffraction gratings are presented.

Keywords: Diffraction optical elements, Diffraction gratings, Augmented reality, Lightguide plate, Optical system.