

## 8. Волноводные голографические оптические элементы для дисплеев дополненной реальности

А. Н. Путилин<sup>1</sup>, А. В. Морозов<sup>1,2</sup>, В. В. Дружин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Физический Институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup> Исследовательский центр Самсунг в Москве, Москва, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрены основные свойства голографических волноводных перископических мультиплексоров выходного зрачка оптических систем дисплеев дополненной реальности. Приводится анализ ограничений в работе волноводных голограмм, компенсации хроматизма в перископических схемах и влияние дефектов волноводов на работу дисплеев дополненной реальности построенных на базе волноводных голограмм.

*Ключевые слова:* Голографические оптические элементы, Дисплеи дополненной реальности, Волноводные голограммы.

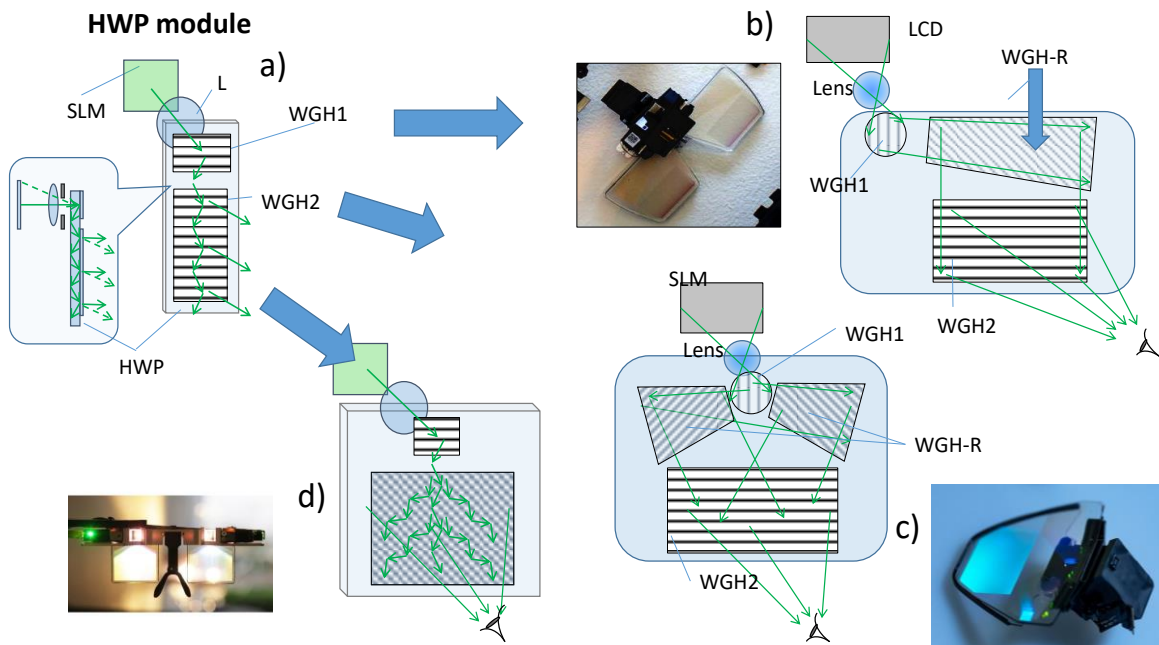
*Цитирование:* Путилин, А. Н. Волноводные голографические оптические элементы для дисплеев дополненной реальности / А. Н. Путилин, А. В. Морозов, В. В. Дружин // HOLOEXPO 2020 : XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — С. 56–59.

### Введение

Оптический канал информации человеческого восприятия окружающего мира самый информационно емкий — через зрение человек получает до 90% информации, соответственно создание виртуальных (Virtual reality, VR) дисплеев, а более правильно, дисплеев дополненной (Augmented Reality, AR) совмещающих цифровые информационные потоки с восприятием и взаимодействием с окружающим человека миром стало очень актуальной задачей. Отличительной их чертой является формирование мнимого (виртуального) увеличенного изображения локального источника информации и высокая прозрачность для света от реальной окружающей зрителя обстановки.

### 1. Волноводные голограммы

Волноводные голограммы, это вид голограмм, когда при записи или реконструкции такого типа голограмм используется излучение, распространяющееся по волноводу, оптическому волокну или внутри оптических элементов на полном внутреннем отражении [1]. Работы в этой области активно развиваются с 1970-х годов, несколько волн интереса к волноводным голограммам был вызваны рядом выдающихся их свойств: высокая дифракционная эффективность — свыше 90%, полное разделение изображающих и не дифрагированных на голограмме пучков, пространственно-временные преобразования информации, недоступные



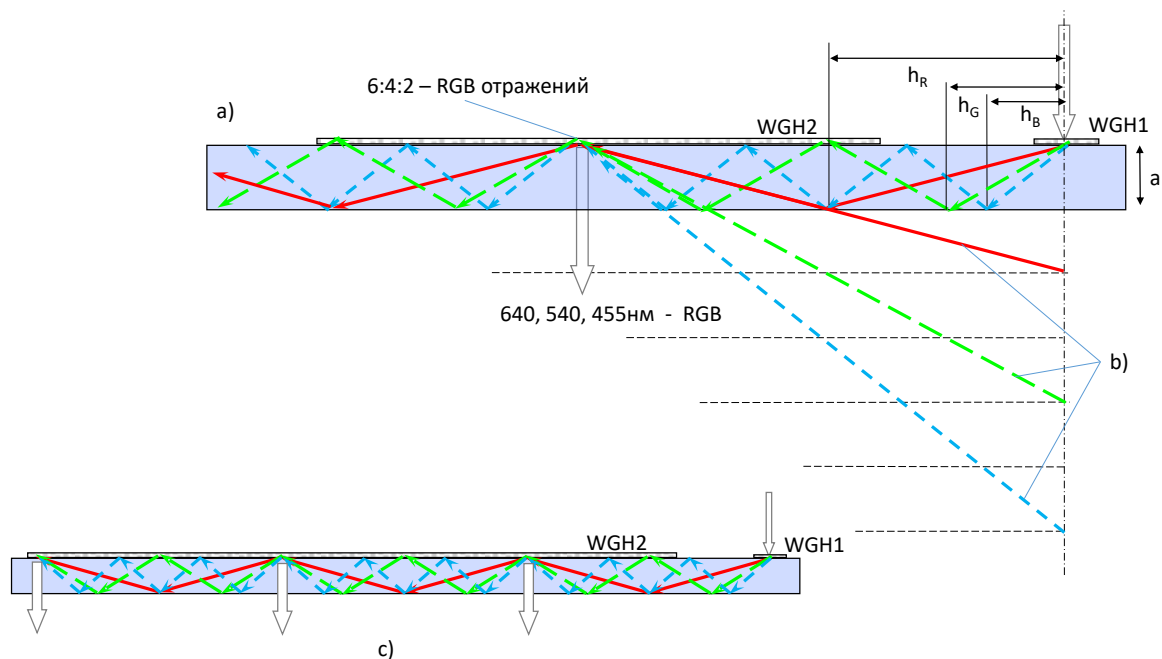
HWP (holographic waveguide periscope) — голографический волноводный перископ, WGH1 — вводная волноводная голограмма, WGH2 — выводная волноводная голограмма, WGH-R — волноводная голограмма редириктор, L — проекционная оптика, SLM — модулятор локального источника информации.

**Рис. 1.** Трехголограммная схема Microsoft. HoloLens (Nokia Research). HoloLens 2 с увеличенным FOV. HMD WaveOptics — с комбинированным голографическим множителем зрачка — WGH2. Базовый модуль не изображающего перископа.

обычной оптике и голографии и, наконец, совместимость с массовой интегральной технологией.

И на самом деле, наиболее широко распространившееся в настоящее время HMD: *HoloLens, Magic Leap, Aconia, Digilens, BAE systems*, — построены именно на голографических перископических базовых элементах (рисунок 1) [2]. Отличительной особенностью этих устройств является планарность, компактность, легкий вес и компенсированный хроматизм в голографическом перископе.

Для каждой цветовой компоненты RGB засветки рассчитываются свои параметры волноводных решеток, однако возможна работа таких голографических перископов и в полноцветном режиме, и с некогерентным излучением. При этом существуют свои периоды расположения точек возврата (постоянная распространения мод волновода) при многократном взаимодействии голограммы с волноводной модой, максимальный период всегда у наибольшей — красной длины волны, что приводит к окрашиванию выводимого из волновода изображения — дальний от входной голограммы край изображения более красный, а ближний наоборот синий. Интересный эффект самосогласованного RGB воспроизведения волноводных голограмм был описан в [3], когда после определенного количества переотражений в волноводе цветовые компоненты снова концентрировались в одной области волновода, в частности, при



*a* — формирование области хорошей ахроматизации для определенного набора RGB составляющих, *b* — оптические пути для отдельных цветовых компонент RGB, *c* — пространственно-самовоспроизводящая структура самосогласованной ахроматизации

**Рис. 2.** Пространственно-самосогласованная ахроматизация воспроизведения волноводных голограмм

нормальном падении света на волновод, соотношение толщины волновода *a* и периода расположения точек возврата *h* равно

$$\frac{h}{a} = \frac{\lambda}{\sqrt{(nd)^2 - \lambda^2}}.$$

В частном случае светодиодов с длинами волн 455, 540 и 640 нм и при соотношении отражений приблизительно 2:4:6 для таких R-G-B составляющих происходила достаточно хорошая хроматическая компенсация вывода некогерентного излучения из волновода, как по углу дифракции, так и по положению точек вывода (рисунок 2*a*).

При использовании волноводных голографических перископических мультиплексоров зрчка большое значение приобретает качество волноводов, дело в том, что при многократном увеличении площади взаимодействия световых пучков с волноводом также многократно возрастают и искажения волнового фронта этих пучков. Неоднородность толщины волновода приводит не только к отклонению луча, но и к модуляции угла вывода в направлении распространения, в результате на виртуальном изображении наблюдается целый комплекс искажений: локальное двоение или размытие, масштабные искажения, искажение перспективы и пр. Таким образом, требования к качеству волновода и, следовательно, к точности изготовления оптических деталей возрастает по мере увеличения степени мультиплицирования зрчка и уменьшения толщины волновода. В некоторых НМД дисплеях толщина волновода уже лежит в пределах 300–500 мкм и количество точек возврата на апертуре выходного элемента

может достигать 20–30 по одному направлению, что приводит к сильному удорожанию производства волноводов.

### Заключение

Проведен анализ свойств и ограничений волноводных голограмм.

Показан ряд уникальных свойств оптических дисплеев, построенных на базе волноводных голографических перископов.

Способность формирования больших выходных зрачков при исключительной компактности, характерная именно для виртуальных дисплеев на базе волноводных голограмм, открыли путь к созданию AR дисплеев, отвечающих требованиям массового потребительского рынка.

### Список источников

- [1] **Suhara, T.** [Waveguide holograms: A new approach to hologram integration](#) / T. Suhara, H. Nishihara, J. Koyama // Optics Communications. — 1976. — Vol 19. — № 3. — P. 353–358. — DOI: 10.1016/0030-4018(76)90097-3.
- [2] **Kress, B. C.** [Optical waveguide combiners for AR headsets: features and limitations](#) // Digital Optical Technologies : Proc. of SPIE. — 2019. — Vol 11062. — P. 110620J. — DOI: 10.1117/12.2527680.
- [3] **Putilin, A.** [Application of holographic elements in displays and planar illuminators](#) / A. Putilin, I. Gustomiasov // XV International Symposium on Advanced Display Technologies : Proc. of SPIE. — 2007. — Vol. 6637. — P. 66370N. — DOI: 10.1117/12.742913.