

Световодный оптический комбинер на фото-термо-рефрактивном стекле с брэгговскими решетками для нашиваемых дисплеев

С. А. Иванов, Е. С. Мусихина, Н. В. Никоноров

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

В работе представлены результаты разработки световодного комбинера на фото-термо-рефрактивном стекле для систем дополненной и смешанной реальности. Ввод/вывод изображения в волновод обеспечен с помощью объемных высокоселективных решеток Брэгга. Установлено, что при использовании дисплея с шириной линии зеленого цвета в 90 нм одна Брэгговская пропускающая решетка толщиной 2 мм передает угловое поле в 4 градуса. Продемонстрирована работа световодного комбинера с портативным проектором.

Ключевые слова: Дифракция, брэгговская решетка, волновод, фото-термо-рефрактивное стекло, дополненная реальность

Цитирование: **Иванов, С. А.** Световодный оптический комбинер на фото-термо-рефрактивном стекле с брэгговскими решетками для нашиваемых дисплеев / С. А. Иванов, Е. С. Мусихина, Н. В. Никоноров // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 165–167.

Введение

В настоящее время все больше внимания уделяется технологиям расширенной реальности. Особый интерес представляют устройства, где в качестве комбинера используются волноводы с дифракционным вводом и выводом излучения. Для ввода и вывода излучения могут использоваться дифракционные решетки любого типа, в том числе и голографические. Известны варианты реализации волноводных систем для технологий расширенной реальности на голограммах на тонких полимерных пленках и на объемных голограммах, записанных так же на полимерных материалах [1]. Однако, подобные системы не получили распространения главным образом из-за необходимости нанесения защитных покрытий на полимерные пленки и низкой селективности голограмм малой толщины. Также стоит отметить, что материалы, которые используются для записи голограмм, не являются волноводами.

В настоящей работе рассмотрена концепция волновода, который является голографической средой. Соответственно, решетки ввода/вывода записаны в самом волноводе и являются его частью.

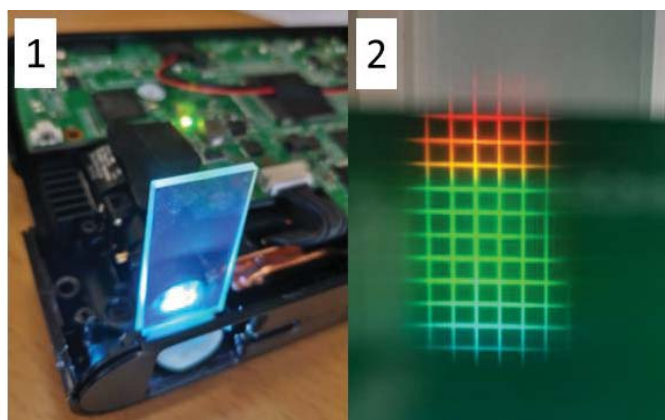
1. Используемые методы и подходы

Для проведения эксперимента на базе научно-исследовательского центра оптического материаловедения университета ИТМО было синтезировано фото-термо-рефрактивное стекло [2]. Синтез стекла производился в высокотемпературной лабораторной печи Carbolite GERO при температуре 1440°C в платиновом тигле. Перемешивание расплава осуществлялось платиновой мешалкой. Отжиг стекла производился в муфельной печи в течение 10 ч при

температуре 485°C. Для проведения эксперимента были изготовлены пластины 40×20×2 мм. Поверхность образцов была предварительно отшлифована и отполирована. Запись решеток в ФТР стекле осуществлялась путем облучения стекла излучением гелий-кадмиевого лазера Kimmon K Series IK3501R-G с длиной волны излучения 325 нм. Проявление голограмм осуществлялось с помощью термообработки в муфельной печи Nabertherm N11/2 при температуре ~500°C в течение 6 часов. Нагрев печи производился со скоростью 5°C в минуту. Дифракционная эффективность решеток ввода/вывода измерялась с использованием лазерного диода с длиной волны 532 нм.

2. Результаты

Как известно, в системах дополненной реальности на основе волноводной пластины и решеток ввода/вывода падающий конус лучей, который содержит в себе заданное поле зрения, поворачивается решетками. Этот поворот осуществляется таким образом, чтобы все лучи, лежащие внутри конуса, попадали под условие полного внутреннего отражения внутри волновода. Этот поворот может быть сделан как с применением отражательных, так и пропускающих решеток. Дополнительно, решетки должны быть наклонены на определенный угол внутри среды по отношению к поверхности. В ходе расчета было установлено, что предпочтительной с точки зрения записи является пропускающая геометрия, где все решетки имеют переменный угол наклона и равные периоды. Первый образец волновода состоял только из одной решетки ввода и вывода, а расстояние между входной и выходной областями составило 15 мм. Процедура термообработки была сокращена по сравнению с традиционным режимом для данного вида стекла, что должно было снизить рассеяние в записанных голограммах. Кроме того, была применена процедура обесцвечивания решеток для удаления желтой окраски пластины. После процедуры пропускание пластины составило более 80% по всему видимому диапазону, при этом 8% потерь приходится на отражения. Согласно измерениям, одна решетка в пластине толщиной 2 мм обеспечивает передачу поля зрения в 4 градуса.



1 — волновод, установленный перед DLP-проектором; 2 — изображение, полученное при помощи волновода

Рис. 1. Результат проверки работоспособности системы

Примечательно, что по второй координате решетка обеспечивает поле в 7 градусов. Модуляция показателя преломления в такой решетке составляет $0,6 \times 10^{-4}$, в то время как динамический диапазон ФТР стекла превышает 10×10^{-4} . Таким образом, очевидно, что потенциал мультиплексирования таких решеток превышает 15 шт, что эквивалентно полю зрения в 60 градусов. Стоит отметить, что дифракционная эффективность одиночной решетки, составила 61%, измеренная узкополосным источником. В то же время эффективность решетки при работе с широкополосным источником составила 15%. На рис. 1 (справа) представлена демонстрация работы системы с портативным проектором.

Заключение

В работе был проведен анализ оптимальной конфигурации решеток ввода/вывода. Выбран оптимальный вариант с точки зрения записи. В результате записан волновод с решетками ввода/вывода в нескольких исполнениях. Продемонстрирована работа волновода с использованием коммерчески доступного DLP-проектора. Показано, что одна решетка в пластине толщиной 2 мм обеспечивает поле зрения в 4 градуса. При этом по второй координате решетка обеспечивает поле в 7 градусов. Потенциал мультиплексирования таких решеток можно оценить в 15 шт. что эквивалентно полю зрения в 60 градусов.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Программы развития ИТМО-2030.

Список источников

- [1] **Kress, B. C.** Waveguide combiners for mixed reality headsets: a nanophotonics design perspective / B. C. Kress, I. Chatterjee // Nanophotonics. – 2021. – Т. 10. – №. 1. – С. 41–74.
- [2] **Nikonorov, N.** New Photo-ThermoRefractive Glasses for Holographic Optical Elements: Properties and Applications / N. Nikonorov, S. Ivanov, V. Dubrovin, A. Ignatiev // Holographic Materials and Optical Systems. – InTech, 2017. – Pp. 435–461

Waveguide-based optical combiner on photo-thermo-refractive glass with Bragg grating for head up displays

S. A. Ivanov, E. S. Musikhina, N. V. Nikonorov

ITMO University, Saint-Petersburg, Russia

This paper presents the results of the development of a waveguide combiner on photo-thermo-refractive glass for augmented and mixed reality systems. The input/output of the image into the waveguide is provided with highly selective volume Bragg gratings. It was found that when using a display with a green color width of 90 nm, one transmission Bragg grating with a thickness of 2 mm transmits an angular field of view of 4 degrees. Operation of a waveguide combiner with a portable projector is demonstrated.

Keywords: Diffraction, Bragg grating, waveguide, photo-thermo-refractive glass, augmented reality.