

УДК 535.421

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК ВВОДА/ВЫВОДА ДЛЯ ВОЛНОВОДНЫХ КОМБИНЕРОВ В СИСТЕМЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Мусихина Е.С. (Национальный исследовательский университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Иванов С.А.

(Национальный исследовательский университет ИТМО)

Введение. Несмотря на то, что технологии дополненной реальности уже больше тридцати лет, массовую популярность она получила только в конце 2000-х. В настоящее время уже существует ряд вариантов коммерческой реализации носимых устройств дополненной реальности (очки, линзы, head-up дисплеи). В качестве комбинеров в таких устройствах производители сначала использовали объемную оптику (призмы и зеркала), а позже перешли и на дифракционную оптику, в том числе на голографические элементы. Решетки, используемые как комбинер в системе дополненной реальности, в основном работают в режиме Рамана-Ната, т. е. одновременно с единственным падающим пучком наблюдается множество дифрагированных лучей. Существует подход с использованием решеток, работающих в режиме дифракции Брэгга, однако толщина предлагаемых элементов составляет порядка 400-500 мкм [1]. В результате ширина контура селективности таких тонких Брэгговских решеток может достигать до нескольких десятков градусов.

В рамках проекта «Приоритет-2030» в Университете ИТМО был запущен проект, целью которого является реализация волноводного комбинера для систем дополненной реальности на фото-термо-рефрактивном (ФТР) стекле. Решетки, записанные в ФТР стекле, могут иметь толщину до 8 мм. Соответственно, такие элементы будут очень высокоселективными.

Классическая теория объемных Брэгговских решеток подразумевает, что пучок, который дифрагирует на решетке, монохроматичен и имеет нулевую расходимость. Источники изображения в системах дополненной реальности могут иметь спектр излучения шириной в несколько десятков нм и поле зрения шириной в несколько градусов. Для достоверного описания дифракции необходимо дополнить классическую теорию.

Таким образом, целью данной работы является моделирование и анализ брэгговских решеток ввода/вывода для волноводных комбинеров в системе дополненной реальности.

Основная часть. Основой для построения модели послужила теория связанных волн Когельника [2], которая описывает дифракцию плоской монохроматичной волны на объемной Брэгговской решетке. У рассматриваемого Когельником источника отсутствует расходимость и источник является монохроматичным. Очевидно, что у реальных источников и ширина спектральной линии, и расходимость пучка ненулевые.

Дифракционная эффективность брэгговской решетки по Когельнику зависит как от отклонения от угла Брэгга, так и от отклонения от центральной длины волны решетки. Контур угловой и спектральной селективности для расходящегося пучка задавались как свертка функции дифракционной эффективности (зависимости от угла падения излучения) и функции расходимости. Аналогично, для немонахроматического пучка, контуры селективности задавались так же сверткой функций дифракционной эффективности (зависимости от длины волны) и спектральной. В данной работе функция расходимости пучка и функция, описывающая спектр излучения, для простоты задавались Гауссовыми функциями.

Контур селективности немонахроматического расходящегося пучка задавались как свертка функций дифракционной эффективности расходящегося и полихроматического пучков. Моделирование было выполнено для пропускающей решетки со следующими параметрами: центральная длина волны дифракции - 542 нм; период решетки - 395,6 нм; толщина решетки 1,5 мм, амплитуда модуляции показателя преломления - $1,5 \times 10^{-4}$. Расходимость источника изменялась от 0,001 до 3 мрад, спектральная ширина от 0,001 до 3 нм. В результате моделирования получены контуры угловой и спектральной селективности

решетки для разных значений угловой расходимости и спектральной ширины излучения источника.

Выводы. В результате работы было проведено моделирование и анализ Брэгговской дифракции расходящегося немонахроматического излучения. Было определено, что с увеличением расходимости и/или спектральной ширины линии пучка форма контура становится менее выраженной, дифракционная эффективность снижается, а ширина контура растет. Так же с ростом силы решетки ее эффективность при работе с полихроматическими расходящимися пучками меняется немонотонно. Кроме того, с увеличением силы решетки возрастает амплитуда осцилляции функции дифракционной эффективности от силы решетки. в связи с чем, при записи сильных решеток есть вероятность получить дифракционную эффективность ниже, чем для слабых решеток.

Список использованных источников:

1. Kress B. C., Chatterjee I. Waveguide combiners for mixed reality headsets: a nanophotonics design perspective // *Nanophotonics*. – 2021. – Т. 10. – №. 1. – С. 41–74.
2. Kogelnik H. Coupled Wave Theory for Thick Hologram Gratings // *The Bell System Technical Journal*. – 1968. – V. 48. – Pp. 2909–2947.