

Осевое мультиплексирование объемных брэгговских решеток с общим углом Брэгга в фото-термо-рефрактивном стекле

Е. С. Мусихина, С. А. Иванов

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

В работе были записаны три осевых делителя на 1550 нм (на 3, 4 и 6 решеток) в фото-термо-рефрактивном стекле с равным распределением интенсивности между лучами. Проведена оценка динамического диапазона изменения показателя преломления материала в зависимости от количества решеток, записанных в единице объема материала.

Ключевые слова: Дифракция, Объемные брэгговские решетки, Осевой делитель, Фото-термо-рефрактивное стекло.

Цитирование: Мусихина, Е. С. Осевое мультиплексирование объемных брэгговских решеток с общим углом Брэгга в фото-термо-рефрактивном стекле / Е. С. Мусихина, С. А. Иванов // NOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 138–141.

В фракционных лазерах деление пучка может осуществляться с помощью систем сканирования, массивов микролинз и дифракционных оптических элементов (ДОЭ) [1]. Делители пучка на основе ДОЭ выполняются голографическими или литографическими методами. Преимущество голографических ДОЭ заключается в меньших трудоемкости и стоимости процесса изготовления. В основном в качестве материала для делителей на основе ДОЭ используются полимерные материалы ввиду их доступности и простоты синтеза, однако для них характерна низкая стойкость к высоким мощностям непрерывного лазерного излучения. Соответственно для задач, подразумевающих использование непрерывного лазерного излучения высокой мощности требуется другой материал. Для таких задач возможно использование фото-термо-рефрактивного (ФТР) стекла, которое имеет в составе около 70% SiO₂, что повышает химическую, механическую и термическую стойкость материала и позволяет использовать элементы с лазерным излучением высокой мощности без деградации записанных структур.

Таким образом, целью данной работы является запись осевых делителей лазерного пучка с использованием осевого мультиплексирования на ФТР стекле и исследование влияния мультиплексирования на динамический диапазон показателя преломления материала.

Для проведения эксперимента на базе научно-исследовательского центра оптического материаловедения университета ИТМО было синтезировано фото-термо-рефрактивное стекло системы Na₂O-ZnO-Al₂O₃-SiO₂, с добавлением Ag₂O, Sb₂O₃, Ce₂O, NaF и KBr.

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 25×12,5 мм для записи осевых делителей (с толщинами 1, 2 и 5 мм), и 30×12 мм, (с толщиной 1 мм) для исследования

влияния мультиплексирования на динамический диапазон материала. 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 по асимметричной схеме. Проявление голограмм проводилось посредством термической обработки образцов: при температуре 493°C в течение 10 часов. для исследования динамического диапазона материала; для осевых делителей проявление производилось при температуре 515°C, длительность обработки подбиралась отдельно для каждого элемента.

В рамках данной работы необходимо было создать три осевых делителя на 4, 5 и 7 каналов для длины волны 1550 нм. Особенность элементов заключалась в одновременном воспроизведении всех решеток при нормальном падении излучения. Картины дифракции на расстоянии 6,5 мм от задней поверхности элемента должны представлять собой окружности радиуса 3,3–4,6 мм. Точки каждой из картин дифракции должны отстоять друг от друга на равный угол и иметь равную интенсивность (отклонение от среднего значения – не более 5%).

Одновременное воспроизведение объемных брэгговских решеток возможно в том случае, когда система решеток обладает общим углом Брэгга. Математическое описание дифракционной эффективности в угле Брэгга для такой системы отличается от предложенного Когельником [2]. В работе [3] приведено аналитическое выражение для дифракционной эффективности решетки в угле Брэгга для случая воспроизведения двух решеток с общим углом Брэгга, так же в данной работе указано, что полученные результаты могут быть распространены на случай воспроизведения N решеток с общим углом Брэгга.

Выражение для определения дифракционной эффективности η_N одной решетки из системы из N решеток с общим углом Брэгга в угле Брэгга выглядит следующим образом (1):

$$\eta_N = \frac{1}{N} \sin^2 \left(\frac{\pi \cdot n_1 \cdot T}{\lambda \cdot \cos \theta} \right), \quad (1)$$

где n_1 – амплитуда модуляции показателя преломления среды, T – эффективная толщина решетки, λ – длина волны излучения, падающего на решетку, θ – угол Брэгга.

Если все N решеток делителя имеют одинаковые параметры, то дифракционная эффективность одной решетки составляет $1/N$ от общей эффективности. Дифракционная эффективность решетки зависит от амплитуды модуляции показателя преломления, толщины решетки, длины волны излучения и угла Брэгга. Угол Брэгга и длина волны принимаются неизменными, так как исходя из их значений производился расчет прочих параметров элемента, тогда эффективность зависит от толщины решетки и амплитуды модуляции показателя преломления. Так, если увеличить толщину среды, то можно получить то же значение дифракционной эффективности с меньшими значениями амплитуды модуляции, что позволяет верхнюю границу количества решеток в элементе.

В результате было записаны 3 осевых делителя: на 4, 5 и 7 каналов. Измерение полученных элементов осуществлялось лазером с длиной волны 1549,34 нм. Данная длина волны отличается от требуемой на 0,66 нм, однако в связи с тем, что элементы считаются

на пропускание, они менее селективны по длине волны, чем если бы они работали на отражение, соответственно, согласно [2, 3], значения дифракционной эффективности данных элементов для 1550 и 1549,34 нм практически не отличаются. Демонстрация работы полученных элементов показана на Рис. 1.

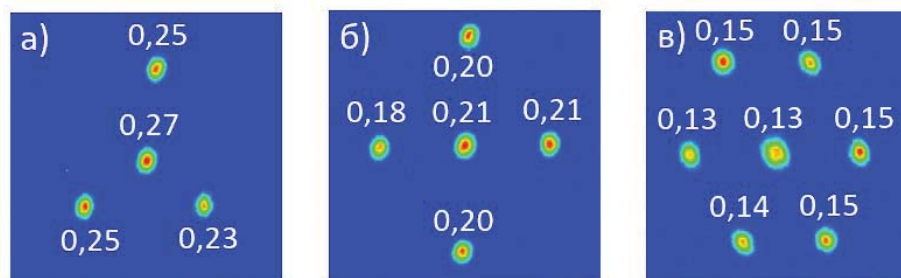


Рис. 1. Графики уровней интенсивности дифракционных картин записанных элементов:
а) 4 канала, б) 5 каналов, в) 7 каналов

Угол чтения элемента составил 0° (т. е. чтение элемента происходило при нормальном падении света на образец), угол дифракции составил $17,26^\circ$, что соответствует диаметру окружности дифракционной картины на расстоянии 6,5 мм от задней поверхности элемента равному 4,03 мм. Отклонение от среднего значения энергии в одном пятне дифракционной картины для каждого элемента не превышает 2%.

В дальнейшем возможна запись делителей на большее число каналов и с иным видом дифракционной картины (например, несколько concentric окружностей с разными радиусами, прямоугольный массив точек и т. д.).

Список источников

- [1] **Katz, S.** Using Diffractive Optical Elements: DOEs for beam shaping—fundamentals and applications / S. Katz, N. Kaplan, I. Grossinger // *Optik & Photonik*. – 2018. – Т. 13. – №. 4. – С. 83-86
- [2] **Kogelnik, H.** Coupled Wave Theory for Thick Hologram Gratings / H. Kogelnik // *The Bell System Technical Journal*. – 1969. – V. 48 – Pp. 2909–2947.
- [32] **Case, S. K.** Coupled-wave theory for multiply exposed thick holographic gratings/ S. K. Case // *JOSA*. – 1975. – Т. 65. – №. 6. – С. 724-729.

Axial multiplexing of common Bragg angle gratings in photo-thermo-refractive glass

E. S. Musikhina, S. A. Ivanov

ITMO University, Saint-Petersburg, Russia

Three axial beam splitters for 1550 nm (3, 4, and 6 gratings) were recorded in photo-thermo-refractive glass with an equal intensity distribution among the beams. The dynamic range of the

material refractive index change was estimated depending on the number of gratings recorded per unit volume of the material.

Keywords: Diffraction, Volume Bragg gratings, Axial beam splitter, Photo-thermo-refractive glass.