

# Исследование метода контактного копирования для записи брэгговских дифракционных решеток в фото-термо-рефрактивных стеклах

П.А. Ханевич<sup>1</sup>, Д.В. Кузьмин<sup>1</sup>, С.Б. Одинок<sup>1</sup>, М.В. Шишова<sup>1</sup>, В.В. Колючкин<sup>1</sup>,  
С.А. Иванов<sup>2</sup>, Н.В. Никоноров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская 5/1, Москва, Россия, 105005

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Кронверкский пр. 49, Санкт-Петербург, Россия, 197101

**Аннотация.** В данной статье был рассмотрен метод контактного копирования брэгговской решетки на ФТР стекле. Были экспериментально подтверждены результаты моделирования, показавшие, что помимо формирования рабочего направления страт, в стекле, так же образуются несколько паразитных решеток. Дифракционная эффективность для рабочего направления страт составила  $\eta=70\%$ .

## 1. Введение

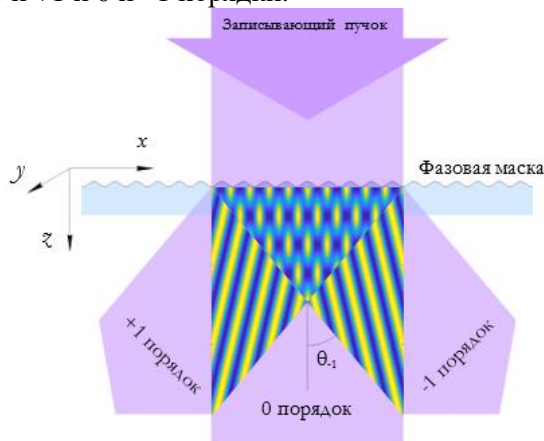
В настоящее время большое распространение во многих областях науки и техники получают оптические элементы, выполненные на основе объемных брэгговских дифракционных решеток. В данной статье в качестве фоточувствительной оптической среды предлагается использовать ФТР стекло. Данный материал успешно себя зарекомендовал для записи таких элементов (узкополосные зеркала, сумматоры лазерных пучков, спектральные и пространственные фильтры, чирпированные решетки для компрессии лазерных импульсов и т.д). К достоинствам ФТР стекла по сравнению с другими фоточувствительными средами (галогенидосеребрянные фотоматериалы, бихромированная желатина (БХЖ), кристаллы, пористые стекла) можно отнести высокую механическую и термическую прочность, а также химическую устойчивость (аналогично оптическому стеклу К8). Голограммы, записанные на ФТР стекле, не деградируют со временем, т.е. имеют практически неограниченный срок службы и хранения (десятки лет). Данный материал, как оптическое стекло, допускает применение технологий механической обработки поверхности (шлифовку и полировку), прессования, напыления и вытяжки волокна.

Однако для получения голографических структур на основе ФТР стекла, к оптической схеме записи предъявляются высокие требования, а именно прецизионная точность юстировки оптических элементов, наличие виброустойчивых систем, высокие требования к качеству поверхности оптических элементов. Исходя из выше сказанного предлагается использование метода контактного копирования Брегговских дифракционных структур в ФТР стекле. Данный метод является менее требовательным к оптической системе записи, что делает его наиболее подходящим для массового производства голограмм [1-4].

## 2. Метод контактного копирования для записи брэгговских решеток в ФТР стекле текста

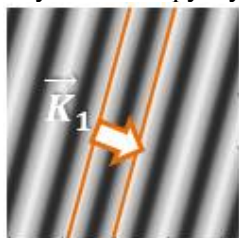
Для записи Брэгговских решеток методом контактного копирования используется многолучевая интерференция, и обеспечивается следующим образом.

На поверхности подложки из ФТР стекла в слое фоторезиста записывается фазовая маска в виде одномерной голографической дифракционной решетки. При освещении данной решетки широким пучком света с длиной волны записи для ФТР стекла, излучение дифрагирует с образованием трех порядков, которые интерферируют между собой в ближней зоне. Схема записи качественно изображена на рисунке 1. Формируется три области записи: область в которой происходит интерференция пучков всех трех порядков дифракции, области, где попарно интерферируют 0 и +1 и 0 и -1 порядки.

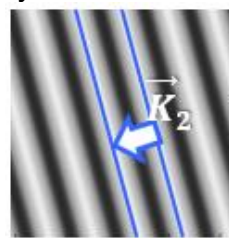


**Рисунок 1.** Схема записи брэгговской решетки с помощью фазовой маски при освещении по нормали.

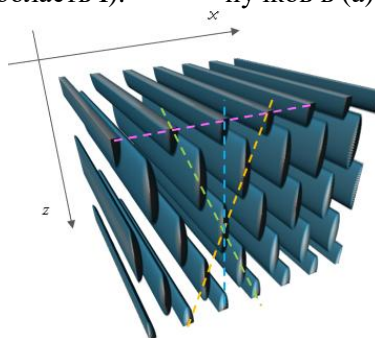
При копировании ожидалось, что в итоговой структуре будут присутствовать наложенные дифракционные решетки, интерференция первых и 0-го порядков, как показано на рисунке 2,3. Моделирование показало, что в большей части области записи, где интерферируют три пучка, сформирована структура из прерывающихся страт в виде эллиптических стержней. Объемное изображение полученной структуры показано на рисунке 4, визуализация выполнена в Matlab.



**Рисунок 2.** Распределение относительной интенсивности при попарной интерференции пучков в (а) 0 и +1 порядках (область I).



**Рисунок 3.** Распределение относительной интенсивности при попарной интерференции пучков в (а) 0 и -1 порядках (область II).



**Рисунок 4.** Объемное изображение скопированной структуры с указанными направлениями периодичности.

На рисунке 5 схематично показаны четыре направления периодичности страт: по оси  $x$ , по оси  $z$  и два диагональных. Диагональные направления, отмеченные векторами решеток  $\vec{K}_1$ ,  $\vec{K}_2$ , соответствуют расчётному случаю для выполнения условия Брэгга. Векторы решеток  $\vec{K}_3$ ,  $\vec{K}_4$  будут обеспечивать дифракцию в режиме Брэгга для других длин волн.

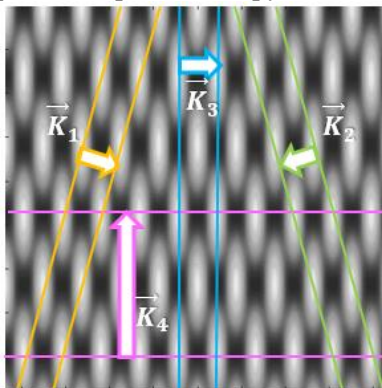


Рисунок 5. Распределение относительной интенсивности при трехлучевой интерференции.

### 3. Экспериментальные результаты записи брэгговских решеток в ФТР стекле

Процесс записи голограмм на ФТР стекле состоит из нескольких этапов. На первом этапе происходит облучение ФТР стекла УФ излучением, попадающим в полосу поглощения церия, с его фотоионизацией. Отдав электрон, церий переходит в форму  $(Ce^{3+})^+$ . Затем электрон захватывается сурьмой. Дальнейшие преобразования в стекле происходят уже при его нагреве вплоть до температуры стеклования (около  $500^{\circ}C$ ).

Запись проходит с помощью непрерывного гелий-кадмиевого  $\lambda = 325$  нм, период фазовой маски составляет  $ds = 435$  нм. На рисунке 6 представлен внешний вид полученного образца. Дифракционная эффективность для рабочей периодичности составила  $\eta=70\%$ .



Рисунок 6. Внешний вид полученного образца.

### 4. Вывод

В ходе выполнения данного исследования, был рассмотрен метод контактного копирования брэгговской решетки на ФТР стекле. Были экспериментально подтверждены результаты моделирования, показавшие, что помимо формирования рабочего направления страт, в стекле, так же образуются несколько паразитных решеток.

Формирование страт в виде эллиптических стрежней, совместно с низким контрастом при записи, влияет на итоговую дифракционную эффективность. Одним из способов решения этой проблемы является исключение трехлучевой интерференции из процесса копирования. Это возможно при использовании в качестве фазовой маски высокоселективной толстой дифракционной решетки, которая будет формировать лишь одну пару порядков дифракции (0 и +1). Но данную идею технологически сложно реализовать, и она не является приоритетной.

## 5. Литература

- [1] Иванов, С.А. Голографические характеристики модифицированного фототерморефрактивного стекла // Оптический журнал. – 2014. – Т. 81, № 6. – С. 68-70.
- [2] Dotsenko, A.V. On the Absorption Spectra of Polychromatic / A.V. Dotsenko, A.M. Efimov, V.K. Zakharov, E.I. Panysheva, I.V. Tunimanova // Fiz Khim Stekla. – 1985. – Vol. 11(5). – P. 592-595.
- [3] Glebov, L.B. New Possibilities of Photosensitive Glasses for the Recording of Volume Phase Diagrams / L.B. Glebov, N.V. Nikonorov, E.I. Panysheva // Opt. Spektros. – 1992. – Vol. 73(2). – P. 404-412.
- [4] Иванов, С.А. Голографические характеристики модифицированного фототерморефрактивного стекла / А.С. Иванов, А.И. Игнатьев, Н.В. Никоноров // Оптический журнал. – 2014. – Т. 81, № 6. – С. 72-77.

## Investigation of the contact copy method for recording Bragg diffraction gratings in photothermal refractive glasses

P.A. Khanevich<sup>1</sup>, D.V. Kuzmin<sup>1</sup>, S.B. Odinkov<sup>1</sup>, M.V. Shishova<sup>1</sup>, V.V. Kolyuchkin<sup>1</sup>,  
S.A. Ivanov<sup>2</sup>, N.V. Nikonorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow State Technical University named N.E. Bauman, 2nd Bauman str., 5/ 1, Moscow, Russia, 105005

<sup>2</sup>St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Kronverksky pr. 49, St. Petersburg, Russia, 197101

**Abstract.** This article examined the method of contact copying of the Bragg grating on FTR glass. Simulation results were experimentally confirmed, which showed that in addition to the formation of the working direction of the striations, several parasitic gratings are also formed in the glass. The diffraction efficiency for the working direction of the striations was  $\eta = 70\%$ .