

Создание спектрально-угловых мультиплексоров на основе трехмерных дифракционных решеток в ФТР-стекле

М. В. Шишова, С. Б. Одинокоев, А. Ю. Жердев

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Голографические трехмерные дифракционные решетки используются в качестве спектрально-угловых мультиплексоров или соединителей для световодных устройств дополненной реальности, а также для лазерных приложений. Представлен подход к моделированию дифракционных световодов на основе трехмерных спектрально-угловых мультиплексоров в фото-термо-рефрактивного стекла для устройств дополненной реальности широкого углового поля зрения.

Ключевые слова: дифракционные решетки, дифракция Брэгга, мультиплексирование, ФТР-стекло.

Цитирование: Шишова, М. В. Создание спектрально-угловых мультиплексоров на основе трехмерных дифракционных решеток в ФТР-стекле / М. В. Шишова, С. Б. Одинокоев, А. Ю. Жердев // НОЛОЕХРО 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 127–130.

Спектральные и угловые оптические мультиплексоры решают задачи перенаправления излучения на основе мультиплексированных объемных голографических решеток для устройств дополненной реальности [1–3] и лазерных применений [4]. В этой области фото-термо-рефрактивное (ФТР) стекло позволяет создавать эксплуатационно-стойкие решения [5]. Спектрально-угловые мультиплексоры на базе трехмерных дифракционных решеток в ФТР-стекле также могут заменить дифракционные чипы в области создания часов атома [6].

Создание световодных соединителей на основе мультиплексированных объемных голографических решеток в данной работе основано на последовательной записи интерференционных картин на ФТР стеклянной подложке толщиной 2 мм. На рис. 1а представлен результат моделирования для спектрально-углового соединителя на базе пропускающих трехмерных дифракционных решеток, используемого для передачи зеленого изображения в световоде. Моделирование дифракции основано на геометрическом расчете работы и теории связанных волн [7], решая задачу сшивки изображения. На рис. 1б показано изменение контура угловой селективности для разных мультиплексированных трехмерных дифракционных решеток по мере увеличения угла наклона дифракционной решетки и уменьшения периода.

Шаг мультиплексирования при создании дифракционного световода определяется следующими факторами: шириной контура спектрально-угловой селективности, спектром источника излучения, допустимой неравномерностью яркости в изображении при составлении общего поля. Для каждой трехмерной дифракционной решетки предполагается, что будет одинаковая амплитуда модуляции показателя преломления, а значит, на практике время экс-

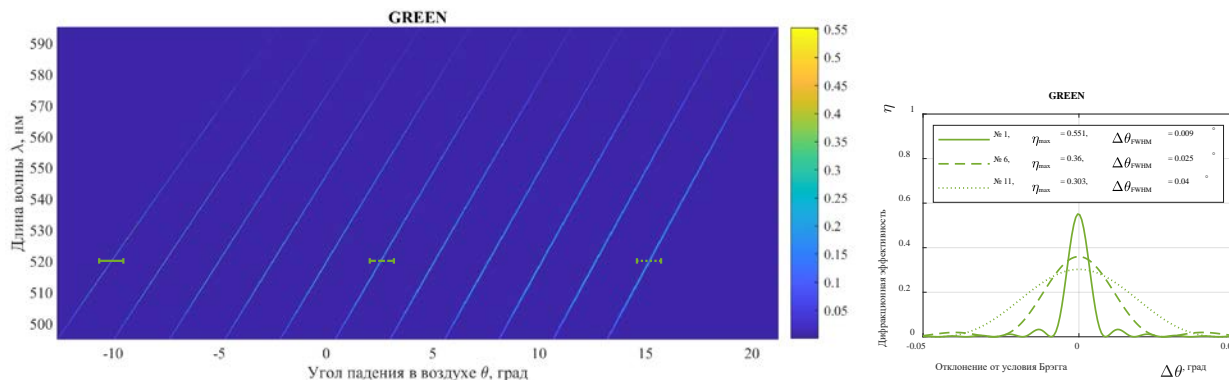


Рис. 1. Спектрально-угловая диаграмма работы мультиплексной голографической объемной решетки для дисплея дополненной реальности (а) и уширение угловой полосы пропускания соответственно крайним и медианному мультиплексам на диаграмме (б)

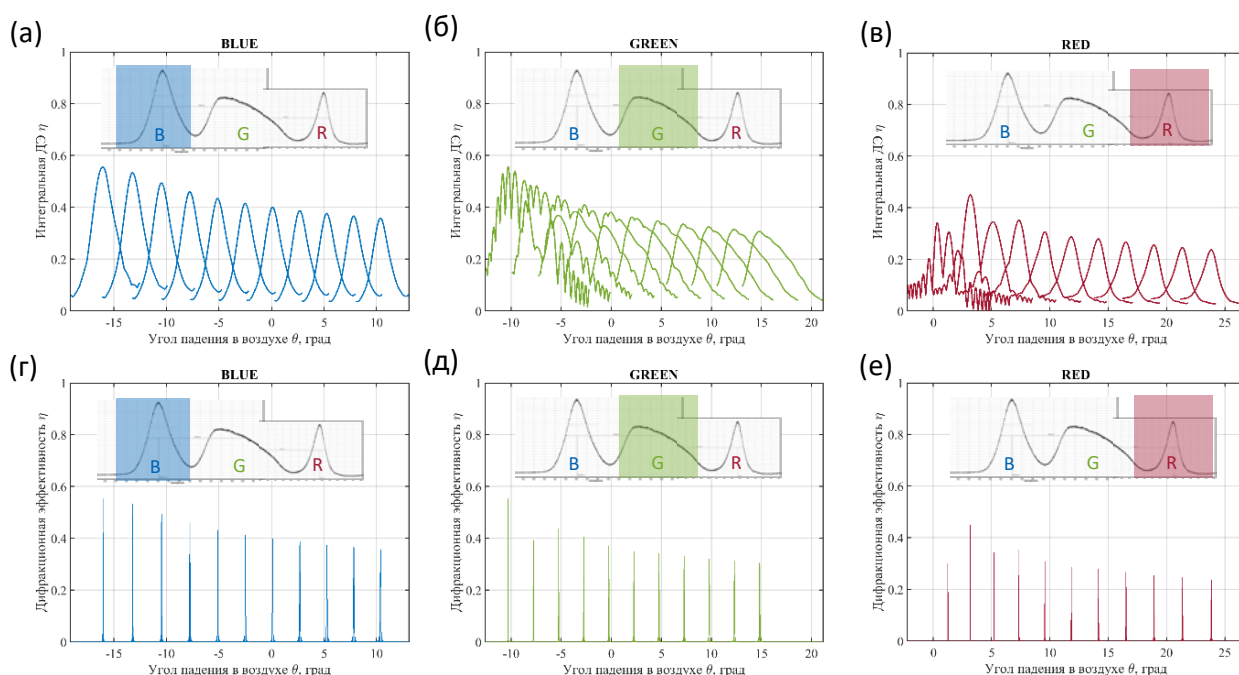


Рис. 2. Расчетные контуры селективности для широких спектральных диапазонов: красного (а), зеленого (б) и синего (в), — и пики дифракционной эффективности для спектрального максимума в каждом из спектральных диапазонов: красного (г), зеленого (д) и синего (е)

понирования для каждого шага мультиплексирования будет одинаково. Для мультиплексированных трехмерных дифракционных решеток выдерживается одинаковый период в направлении плоскости пластины, то есть проекция вектора решетки на ось x . Это обеспечивает поворот вектора решетки и плавное составное угловое поле при работе мультиплексного элемента. В эксперименте это обеспечивалось с помощью записи через фазовую маску (рис. 3).

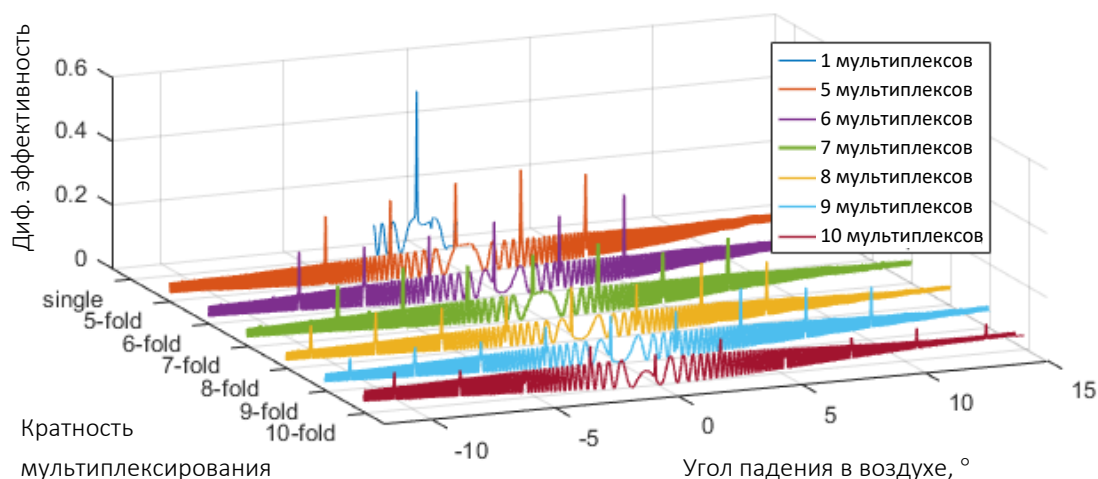


Рис. 3. Экспериментальные результаты по измерению контуров селективности дифракционных соединителей для различного количества. Показано падение дифракционной эффективности при увеличении количества мультиплексов при записи

В случае с дифракционными световодами, противоположно требованиям для лазерной фильтрации, рекомендуется выбирать источники излучения широкого спектра. Рис. 2а–2в описывает угловые контуры селективности именно с учетом спектра светодиодных источников излучения проектора. Данные характеристики иллюстрируют угловое сечение исходя из условия максимума дифракционной эффективности. Каждая дифракционная решетка передает угловое поле согласно данным спектрально-угловым характеристикам. Рис. 2г–2е иллюстрирует соответствующие контуры дифракционной эффективности для спектральных максимумов в каждом из спектральных диапазонов. Результаты экспериментов по изготовлению соединителей на основе мультиплексных трехмерных дифракционных решеток для световодных устройств дополненной реальности показаны на рис. 3.

Эксперименты показали меньшую дифракционную эффективность полученных мультиплексированных трехмерных дифракционных решеток по сравнению с моделированием. Это связано с записью трехмерных дифракционных решеток с использованием неселективной фазовой маски, которая не обеспечивает максимального контраста во время экспозиции и не позволяет оптимизировать распределение модуляции показателя преломления, но является технологически предпочтительным инструментом, реализующим оптическое копирование [2, 3].

Список источников

- [1] Lee, Y.-H. [Prospects and challenges in augmented reality displays](#) / Y.-H. Lee, T. Zhan, S.-T. Wu // Virtual Reality & Intelligent Hardware. — 2019. — Vol. 1. — P. 10–20.
- [2] **Odinokov, S. B.** [Augmented reality display based on photo-thermo-refractive glass planar waveguide](#) / S. B. Odinokov, M. V. Shishova, V. V. Markin, D. S. Lushnikov, A. Y. Zherdev, A. B. Solomashenko, D. V. Kuzmin, N. V. Nikonov, S. A. Ivanov // Optics Express. — 2020. — Vol. 28. — № 12. — P. 17581–17594.

- [3] **Shishova, M. V.** [Recording of multiplexed volume gratings via a phase mask for augmented reality waveguides](#) / M. V. Shishova, S. B. Odinkov, A. Y. Zherdev, D. S. Lushnikov // Applied Optics. — 2021. — Vol. 60. — P. A140–A144.
- [4] **Kaim, S.** Saturation of Multiplexed Volume Bragg Grating Recording / S. Kaim, S. Mokhov, D. Ott, I. Divliansky, J. Lumeau, V. Smirnov, B. Y. Zeldovich, L. B. Glebov // Frontiers in Optics 2014, OSA Technical Digest. — 2014. — P. FTh4G.5.
- [5] **Jain, A.** Saturation of Multiplexed Volume Bragg Grating Recording / A. Jain, C. Spiegelberg, V. Smirnov, E. Bochove, L. Glebov // Conference on Lasers and Electro-Optics 2012, OSA Technical Digest. — 2012. — P. CF2N.8.
- [6] **Elvin, R.** [Cold-atom clock based on a diffractive optic](#) / R. Elvin, G. W. Hoth, M. Wright, B. Lewis, J. P. McGilligan, A. S. Arnold, P. F. Griffin, E. Riis // Optics Express. — 2019. — Vol. 27. — P. 38359–38366.
- [7] **Kogelnik, H.** [Coupled wave analysis for thick hologram gratings](#) / H. Kogelnik // The Bell System Technical Journal. — 1969. — Vol. 48. — № 9. — P. 2909–2947.