

Экспериментальное исследование дифракции света на мультиплексированных двух и трехслойных голографических дифракционных структурах в фотополимеризующихся композициях

Д. С. Растрыгин, В. О. Долгирев, С. Н. Шарангович

*Томский Государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия,
e-mail: shr@tusur.ru, vital2@mail.ru*

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования дифракции света на мультиплексированных двух и трехслойных голографических дифракционных структурах, сформированных в фотополимеризующихся композициях. Полученные дифракционные характеристики демонстрируют возможность увеличения угловой и спектральной полосы пропускания по сравнению с обычными многослойными дифракционными структурами в несколько раз.

Ключевые слова: дифракция; ФПМ; МНГДС; голография

Experimental study of light diffraction on multiplexed two- and three-layer holographic diffraction structures in photopolymerizing compositions

D. S. Rastrygin, V. O. Dolgirev, S. N. Sharangovich

*Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia;
e-mail: shr@tusur.ru, vital2@mail.ru*

This paper presents the results of an experimental study of light diffraction on multiplexed two- and three-layer holographic diffraction structures formed in photopolymerizing compositions. The obtained diffraction characteristics demonstrate the possibility of increasing the angular and spectral bandwidth in comparison with conventional multilayer diffraction structures by several times.

Keywords: diffraction; PPM; MINDS; holography.

Введение

В настоящее время дифракционная оптика приобретает исключительное значение в развитии оптических коммуникационных систем. Ее значимость проявляется в способности улучшения характеристик оптических сетей связи, обеспечении революционного роста скорости передачи информации и достижении экономической выгоды при использовании оборудования. Развитие дифракционной оптики также стимулирует разработку новых оптических инструментов, включая оптические вычислители и мультиплексоры, способные обрабатывать огромные объемы данных со сверхскоростями.

Между тем, все больше ученых выражают интерес к исследованию многослойных дифракционных структур, что, например, демонстрирует ряд исследований [1–5]. Особенной чертой таких структур является их угловая селективность, проявляющаяся в наличии характерных локальных максимумов. Рассматривая каждый из этих максимумов как потенциальную спектральную полосу пропускания, эти структуры приобретают значительный интерес с точки зрения возмож-

ности создания оптических спектральных фильтров. Эти фильтры могут быть успешно применены в оптических сетях связи, особенно в области волнового уплотнения каналов передачи данных

Одновременно с этим, применение фоточувствительных материалов [6–9] и голографического метода записи дифракционных структур позволяет создавать более сложные фотонные структуры с довольно высокой дифракционной эффективностью. Более того, разнообразие составов фоточувствительных сред, таких как фотополимерные материалы (ФПМ) с интегрированными жидкими кристаллами (ЖК), например нематиками, предоставляет уникальные возможности для манипуляции дифракционными характеристиками при воздействии электрических полей [1, 7, 10–12].

Ранее проведенные исследования [1–5] позволили изучить дифракционные свойства многослойных неоднородных голографических дифракционных структур (МНГДС), записанных с использованием фотополимеризующихся композиций, включая и жидкие кристаллы. Эти исследования демонстрируют, что существует прямая возможность модифицировать количество локальных максимумов и их ширину вследствие зависимости от соотношения толщин буферного и дифракционного слоя. А в случае, если жидкие кристаллы включены в состав дифракционных слоев, под действием электрического поля возможно не только изменять угловую селективность, но и осуществлять её смещение [1].

Однако, в предшествующих исследованиях уделено недостаточно внимания вопросу считывания МНГДС, в которых были бы последовательно записаны несколько дифракционных решеток (ДР). Такая мультиплексированная запись МНГДС позволила бы значительно улучшить дифракционные характеристики обычных многослойных структур, путем уширения угловой селективности и спектральной полосы пропускания.

Таким образом, целью данной работы является исследование дифракции света на мультиплексированных двух и трехслойных голографических дифракционных структурах, сформированных при последовательной записи в фотополимеризующихся композициях.

1. Экспериментальная часть

Для осуществления процесса голографической записи и последующего считывания мультиплексированных МНГДС в ФПМ использовались экспериментальные установки, которые продемонстрированы на рис. 1. В качестве образцов для записи в них голографических дифракционных структур (ГДС) использовались тонкие пленки Bayfal HX 200, имеющие толщину фотополимерного слоя 16 мкм, которые также были разделены буферными слоями с толщиной 60 мкм.

Для формирования ГДС в ФПМ слоях образца использовалась классическая схема двухпучковой записи. А для осуществления последовательной мультиплексированной записи образец через заданное время t поворачивался поворотным механизмом на угол Ψ . Для снятия селективных свойств один из пучков перекрывался шторкой с помощью анализаторов лазерного излучения фиксировалось

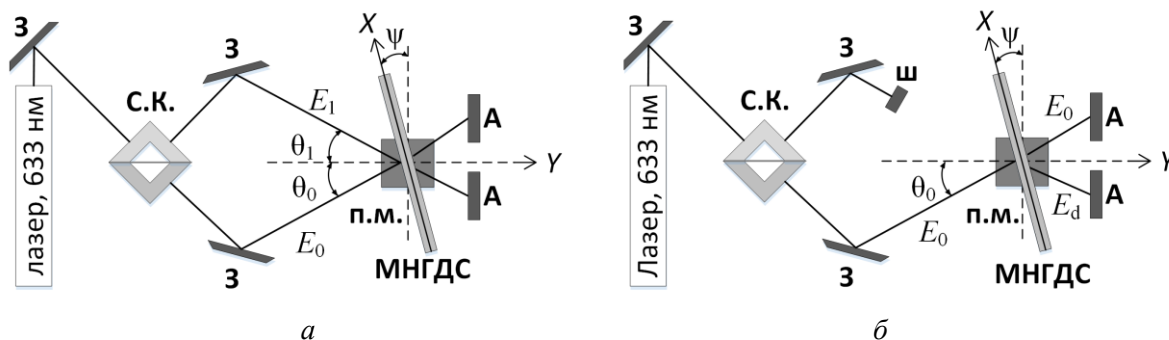


Рис. 1. Схема (а) записи и (б) считывания мультиплексированной МНГДС в ФПМ:
с.к. – светоделительный кубик, З – зеркало, А – анализатор лазерного излучения, ш – штормка,
п.м. – поворотный механизм

значение интенсивности прошедшего и дифрагированного излучения. В качестве лазерного источника был использован He-Ne лазер с длиной волны 633 нм.. Угол между записывающими пучками составлял 20 градусов, а интенсивность каждого пучка 0.25 мВт.

2. Результаты эксперимента

Для демонстрации увеличения угловой селективности и спектральной полосы пропускания мультиплексированных МНГДС изначально были получены селективные свойства одиночных двухслойных и трехслойных ГДС, которые представлены на рис. 2.

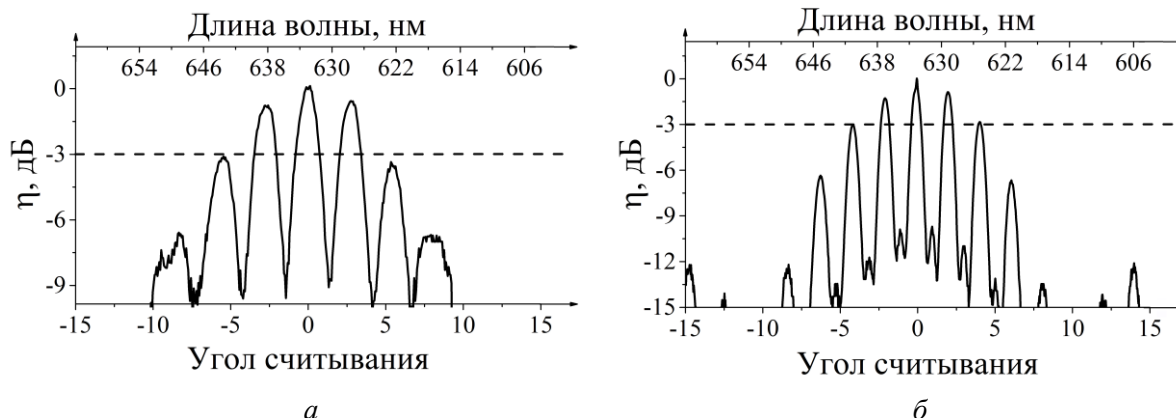


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности (а) двухслойной и (б) трехслойной ГДС от угла считывания

Как видно из рис. 2, при увеличении числа дифракционных слоев ширина локальных максимумов уменьшается, а расстояние между ними увеличивается, что можно интерпретировать как более селективную избирательность для отдельных участков спектра. Вместе с тем, для записи мультиплексированных МНГДС, для которых бы угловая селективность имела расширение в одной области, были определены углы, при которых уровень локальных максимумов был близок к уровню -3 дБ.

Для двух последовательных записей в трёхслойной ГДС угол поворота образца Ψ составлял -7 и $+7$ градусов. Для трех последовательных записей в

двухслойной ГДС угол поворота образца Ψ составлял -12 , 0 и $+12$ градусов. На рис. 3 представлены угловые селективности для мультиплексированной двухслойной (рис. 3, а) и трехслойной (рис. 3, б) ГДС.

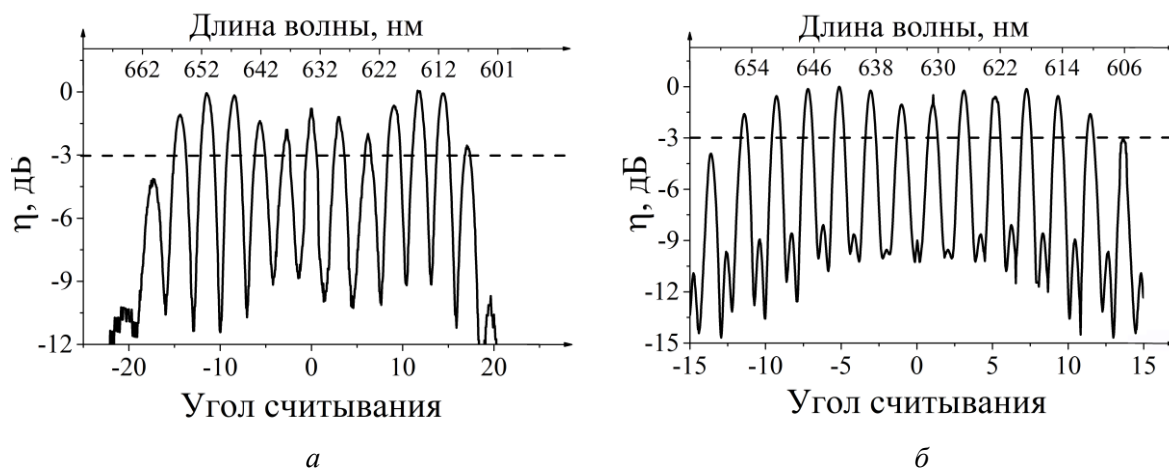


Рис. 3. Зависимость дифракционной эффективности (а) двухслойной и (б) трехслойной мультиплексированной ГДС от угла считывания

Как видно из рис. 3, а, при последовательной записи трех фотонных структур в двухслойной ГДС угловая селективность по уровню дифракционной эффективности близкой -3 дБ была расширена практически в 3 раза. А при последовательной записи двух фотонных структур в трехслойной ГДС уширение угловой селективности (рис. 3, б) также близко к 3 разам. В общем случае, коэффициент уширения для мультиплексированных структур должен находиться в пределах значения количества записанных фотонных структур. Однако, при мультиплексированной записи МНГДС, при которой угловые селективности записанных фотонных структур имеют наложение друг на друга, возможно наблюдать выравнивание уровней локальных максимумов в этих областях, что в итоге приводит к увеличению общего числа локальных максимумов, включенных в уровень дифракционной эффективности до -3 дБ.

Заключение

Таким образом, в данной работе представлены результаты исследования дифракции света на мультиплексированных двухслойных и трехслойных голографических дифракционных структурах, сформированных в фотополимеризующихся композициях.

В ходе исследования было выявлено, что в общем случае уширение угловой селективности и спектральной полосы пропускания для мультиплексированных многослойных структур по уровню -3 дБ кратно числу записанных фотонных структур. Однако, коэффициент уширения может быть увеличен вследствие выравнивания уровня дифракционной эффективности для локальных максимумов в области наложения угловых селективностей записанных фотонных структур.

Кроме этого, при увеличении числа дифракционных слоев возможно улучшить угловую и спектральную избирательность для локальных максимумов угловой селективности всей многослойной структуры.

Благодарности

Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Библиографические ссылки

1. *Dolgirev V. O., Sharangovich S. N.* Transmission functions of inhomogeneous transmissive multilayer holographic photopolymer liquid crystal diffraction structures // *Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys.* 2023. Vol. 87, No. 1. P. 7–12.
2. Improving the uniformity of holographic recording using multilayer photopolymer. Part I. Theoretical analysis / R. Malallah [et al.] // *J. Opt. Soc. Am. A.* 2019. Vol. 36, No. 3. P. 320–333.
3. *Pen E. F., Rodionov M. Yu.* Properties of multilayer nonuniform holographic structures // *Quantum Electron.* 2010. Vol. 40, No. 10. P. 919.
4. Diffractive optical elements for multiplexing structured laser beams / N. L. Kazanskiy [et. al.] // *Quantum Electron.* 2020. Vol. 50, No. 7. P. 629.
5. *Дудник Д. И., Шарангович С. Н.* Взаимодействие света с пропускающими многослойными неоднородными фотополимерными голографическими дифракционными структурами // *Изв. РАН. Сер. Физ.* 2021. Т. 85, № 1. С. 14–21.
6. *Vorzobova N., Sokolov P.* Application of Photopolymer Materials in Holographic Technologies // *Polymers.* 2020. Vol. 11, No. 12. P. 1.
7. *Semkin A. O., Sharangovich S. N.* Theoretical model of controllable waveguide channels system holographic formation in photopolymer-liquid crystalline composition // *Physics Procedia.* 2017. Vol. 86. P. 181–186.
8. Effective volume holographic structures based on organic–inorganic photopolymer nanocomposites / O. V. Sakhno [et. al.] // *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics.* 2009. Vol. 11, No. 2. P. 024013.
9. Thin combiner optics utilizing volume holographic optical elements (vHOEs) using Bayfol HX photopolymer film / R. Hagen [et al.] // *Proc. SPIE, Digital Optical Technologies.* 2017. Vol. 10335. P. 103350D.
10. *Hadjichristov G. B.* Single-Layered PDLC for Diffractive Optics / G. B. Hadjichristov, Y. G. Marinov, G. Petrov // *Molecular Crystals and Liquid Crystals.* 2010. Vol. 525, No. 1. P. 128–129.
11. Influence of photopolymerization reaction kinetics on diffraction efficiency of H-PDLC undergoing photopatterning reaction in mixtures of acrylic monomer/nematic liquid crystals / S. Meng [et al.] // *Macromolecules.* 2007. Vol. 40, No. 9. P. 3190–3197.
12. Electro-optical characterization of switchable Bragg gratings based on nematic liquid crystal–photopolymer composites with spatially ordered structure / G. Zharkova [et al.] // *Microelectronic Engineering.* 2005. Vol. 81, No. 2–4. P. 281–287.