

Ю. Ц. Батомункуев^{1,2}*

Применение объемных голограммных оптических элементов. Часть 3

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

²Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
г. Новосибирск, Российская Федерация

*e-mail: opttechnic@mail.ru

Аннотация. Настоящая работа посвящена обзорному описанию предложенных усовершенствований и применений объемных голограммных оптических элементов, разработанных в Сибирском государственном университете геосистем и технологий (СГУГиТ). В этой части работы рассмотрены особенности объемных голограммных оптических элементов, и с их использованием предложены новые пути применения. Показано, что применение объемных голограммных оптических элементов открывает возможность разработки и улучшения характеристик конструктивных решений оптических систем.

Ключевые слова: ахроматизация голограммных элементов, голограммные оптические элементы

Y. Ts. Batomunkuev^{1,2}*

Application of the Volume Holographic Optical Elements. Part 3

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

²Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Novosibirsk,
Russian Federation

*e-mail: opttechnic@mail.ru

Abstract. This paper is devoted to an overview description of the proposed improvements and applications of volume holographic optical elements developed at the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT). In this part of the work, the features of volume holographic optical elements are considered and new ways of application are proposed using them. It is shown that the use of volume holographic optical elements opens up the possibility of developing and improving the characteristics of constructive solutions for optical systems.

Keywords: achromatization of hologram elements, holographic optical elements

Введение

Решение проблемы оптимизации весогабаритных характеристик является одной из важных при совершенствовании оптических систем с целью улучшения их оптических характеристик [1–3]. В частности, требуется резкое уменьшение массы оптических систем. Поэтому возник повышенный интерес к дифракционным оптическим элементам и оптическим системам на их основе, которые, как известно, обладают значительно меньшей массой по сравнению с линзовыми

аналогами [4]. Из дифракционных элементов теоретической стопроцентной эффективностью преобразования световой волны обладают объемные голограммные элементы и рельефные дифракционные элементы, в том числе синтезированные голограммные оптические элементы (ГОЭ) [2,4,5].

Процесс изготовления синтезированного голограммного элемента, включает в себя расчет, задание расчетных величин компьютерной программе и создание этого элемента при помощи высокоразрешающего 3D-принтера. Уже сейчас фазовая объемная и рельефная синтезированные дифракционные структуры могут быть сформированы нанесением с помощью 3D-принтера двух и более прозрачных материалов на поверхность прозрачной пленки или пластины. Амплитудная объемная дифракционная структура может быть сформирована нанесением чередующихся тонких слоев прозрачных и непрозрачных материалов. Особенно перспективным является изготовление на 3D-принтере рельефных дифракционных элементов. Так как толщина рельефа сравнима с длиной волны, то на изготовление таких элементов будет тратиться гораздо меньше времени, чем на дифракционные структуры объемных фазовых и амплитудных элементов.

Развитие 3D технологий и создание новых прозрачных материалов для 3D-принтеров позволит реализовать синтезированные составные и комбинированные объемные и рельефные дифракционные элементы с уникальными характеристиками. Эти элементы будут обладать функциональными возможностями, которые в настоящее время не достижимы.

Синтезированные ГОЭ с повышенной глубиной резкости

В настоящее время подавляющее большинство серийно выпускаемых фотоматриц приемников имеют плоскую поверхность регистрации изображения, в то время как изображения, формируемые оптическими элементами и системами, обладают, как правило, абберацией кривизны поверхности изображения. Именно кривизна изображения в настоящее время ограничивает поле зрения систем наблюдения в различных задачах дальнометрии. Одним из способов уменьшения этой абберации является повышение глубины резкости изображения. Известно, что глубина резкости изображения, сформированного тонким ГОЭ, зависит от отношения расстояния от плоскости изображения до ГОЭ и светового радиуса ГОЭ [2]. Световым радиусом ГОЭ называется радиус его объема, в котором выполняется условие Брэгга. Световой радиус объемного ГОЭ зависит от его толщины (обратно пропорционально). В работе [2] показано, как при расчете глубины резкости изображения объемного ГОЭ учитывать эти зависимости, а также зависимость от изменения рабочей длины волны.

Использование объемного ГОЭ как спектрального элемента с расширенным рабочим диапазоном

Использование тонкого фокусирующий ГОЭ в качестве высокоразрешающего спектрального элемента было предложено Мустафиным К.С. [6]. Но у такого тонкого ГОЭ должны быть исправлены осевые абберации [7]. Одним из вариантов схемы голографического спектрального устройства является двухком-

понтная схема, представленная на рис. 1. Эта схема является комбинацией тонкого и объемного ГОЭ.

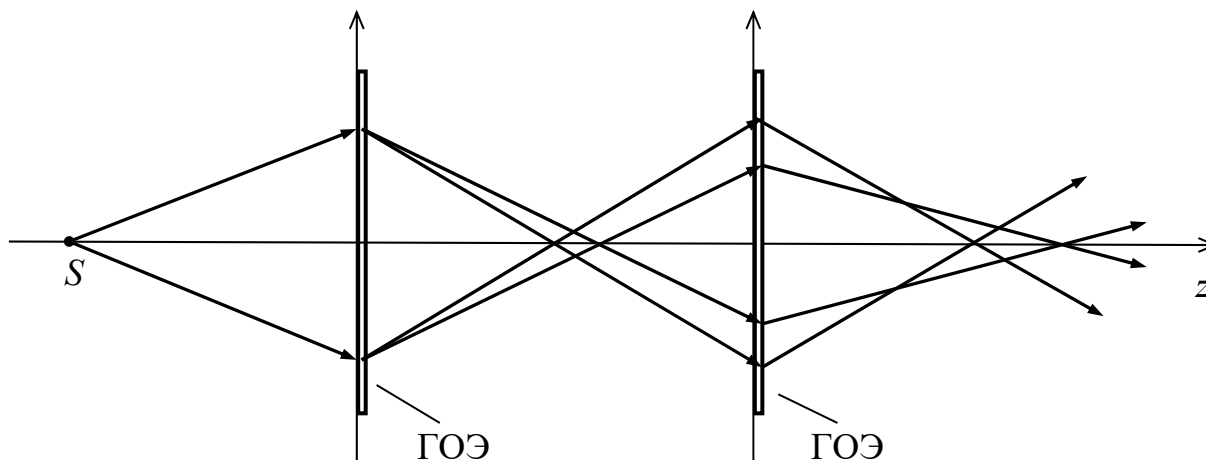


Рис. 1. Двухкомпонентная схема спектрального устройства с тонким и объемным ГОЭ

Несомненным преимуществом использования фокусирующих ГОЭ в качестве спектрального элемента является возможность регистрации спектра от слабых источников излучения за счет фокусировки этого излучения в точку минимально возможного (дифракционного) размера.

Аподизация синтезированных голограммных оптических элементов

Необходимость сглаживания (заданное выравнивание или уменьшение интенсивностей) дифракционных порядков возникает как в задачах равномерного освещения поверхности лазерным излучением, так в задачах фокусировки лазерного излучения в пятно наименьшего размера [1]. В работе [8] дифракция на отверстиях рассматривается в двухволновой модели Юнга. В качестве примера рассмотрена дифракция монохроматической плоской волны на круглом отверстии, и предложено волну, дифрагировавшую вблизи края отверстия, представить в виде волны с более низкой интенсивностью и со случайным распределением фазы. В таком случае изменения интенсивности на краях дифракционной картины в области дифракции Френеля будут значительно сглажены. Для получения случайного распределения фаз световой волны было предложено три варианта модернизации ГОЭ: первый вариант – формирование вблизи края поверхности ГОЭ матового тонкого участка, второй вариант – формирование вблизи края поверхности тонкого участка с непрерывно увеличивающимся поглощением, третий вариант – комбинирование первого и второго вариантов. Толщина участков была 2–3 мм. Получено, что результаты расчетов в двухволновой модели Юнга совпадают с результатами расчетов с применением принципа Гюйгенса-Френеля и совпадают с экспериментальными результатами [8]. Предложенный подход

применим и для расчета фокусировки лазерного излучения в пятна меньшего размера в области дифракции Фраунгофера [8].

Ахроматизация синтезированных голограммных оптических элементов

В работах, посвященных ахроматизации ГОЭ, например, [9–11], рассматривались тонкие ГОЭ, из-за своих недостатков не использующиеся широко на практике. Тогда как современные технологии изготовления объемных и рельефных ГОЭ, позволяют реализовать их с высокой дифракционной эффективностью и с одним порядком дифракции.

В работе [12] выполнен расчет ахроматических двух- и трехкомпонентных голографических систем. Так, при ахроматизации объемного ГОЭ с помощью двух (корректирующих) рельефных ГОЭ используется метод прямого и обратного спектрального разложения немонахроматической световой волны, исходящей из точечного источника S_1 (рис. 2).

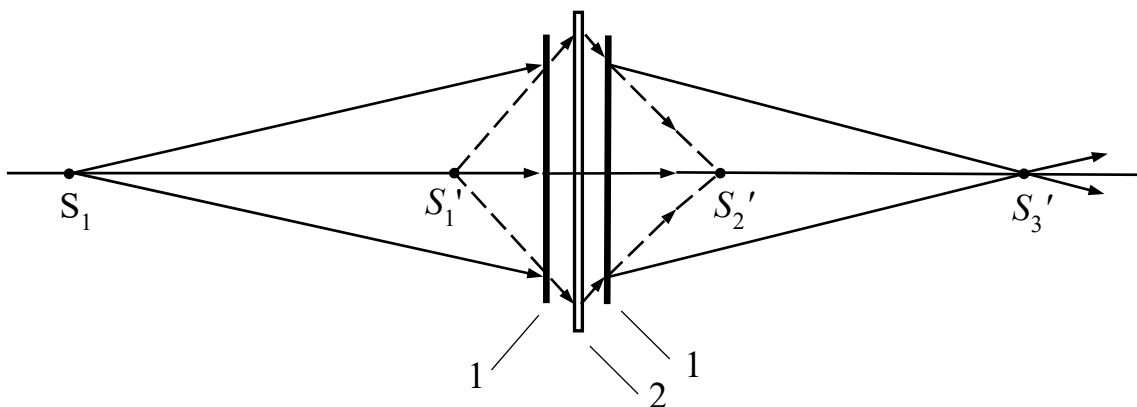


Рис. 2. Схема симметричной ахроматической голографической системы:

1 – рассеивающие рельефные ГОЭ, 2 – собирающий объемный ГОЭ

В этом методе первый рельефный ГОЭ формирует на оптической оси мнимые изображения S_1' точечного источника S_1 на каждой длине волны рабочего спектрального диапазона. Объемный ГОЭ переносит мнимые монохроматические изображения S_1' в действительные изображения S_2' , а второй рельефный ГОЭ преобразует волны, сходящиеся в точках S_2' , в одну сходящуюся волну в точке S_3' . В предлагаемой голографической системе достигается исправление хроматических aberrаций 1-го порядка. Также в системе обеспечивается исправление сферической aberrации 3-го порядка [12].

Заключение

Таким образом, выполнены численные расчеты показывающие, что в трехкомпонентной системе с объемным ГОЭ ахроматизация в заданном спектральном диапазоне может быть достигнута. В симметричной ахроматической схеме,

представленной на рис. 2, используются два рельефные тонкие ГОЭ, находящиеся по обе стороны от объемного ГОЭ. Отличительной особенностью рассмотренной трехкомпонентной голографической системы является тот факт, что она может быть использована для формирования ахроматического действительного изображения точечных источников излучения в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах спектра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дифракционная компьютерная оптика / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, – 2007. – 736 с.
2. Батомункуев, Ю.Ц. Разработка и расчет объемных голографических оптических элементов / Монография // СГУГиТ. – Новосибирск, 2020. – 195 с.
3. Батомункуев, Ю.Ц. Расчет спектрального диапазона многопорядкового фокусирующего голограммного оптического элемента с исправленной сферической aberrацией третьего порядка / Ю.Ц. Батомункуев, А.А. Дианова // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 2. – С. 192–201.
4. Ган, М.А. Теория и методы расчета голограммных и киноформных оптических элементов / М.А. Ган. – Л.: ГОИ, 1984. – 140 с.
5. Батомункуев Ю.Ц., Дианова А.А., Маганакова Т.В., Райхерт В.А., Харитошин Н.А. Компьютерный синтез пленочных составных и наложенных дифракционных элементов / Ползуновский вестник. – 2012. – № 3/2. – С. 139–142.
6. Мустафин, К.С. Голограммная оптика и перспективы ее применения / К.С. Мустафин // В кн.: Материалы пятой Всесоюзной школы по голографии. – ЛИЯФ, 1973. – 602 с.
7. Батомункуев, Ю.Ц. Расчет ахроматической дифракционной системы с исправленной сферической aberrацией (часть 1) / Ю.Ц. Батомункуев, А.А. Дианова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск: сб. материалов в 9 т. Т. 8 :Национальн. конф. с междунар. участ. «СибОптика-2019». – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – С. 41–46.
8. Батомункуев, Ю.Ц. Разработка дифракционного элемента с уменьшенными неравномерностями пространственного распределения интенсивности / Ю.Ц. Батомункуев, П.С. Орлов // Сб. материалов Международной научной конференции «СИБОПТИКА-2018». Новосибирск: СГУГиТ, – 2018. – Ч.1., – С. 156–161.
9. Bennet, S. J. Achromatic combinations of hologram optical elements // Applied optics. – 1976. – V. 15, N. 2. – P. 542–545.
10. Sweatt, W. C. Achromatic triplet using hologram optical elements // Applied optics. – 1977. – V. 16, N. 5. – P. 1390–1391.
11. **Лукин, А.В.** Голограммный оптический элемент / А.В. Лукин, К.С. Мустафин, Р.А. Рафиков // Патент РФ № 1271240. (Приоритет от 04.02.85 г.) – Оpubл. 10.05.1996.
12. Батомункуев, Ю.Ц. Ахроматизация объемных голограммных оптических элементов / Ю.Ц. Батомункуев // Сб. материалов Международной научной конференции «СИБОПТИКА-2020». Новосибирск: СГУГиТ, – 2020. – Ч.1. – С. 139–145.

© Ю. Ц. Батомункуев, 2024