

40. **Влияние ошибок изготовления ДОЭ на распределение интенсивности света в задачах мультипликации и гомогенизации пучков**

Р. К. Насыров, Д. А. Белоусов, А. Г. Седухин, В. П. Корольков, В. Н. Хомутов

Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск, Россия

Рассмотрены дифракционные элементы для решения задач мультиплицирования и гомогенизации лазерных пучков. Проведено исследование влияния ошибок изготовления дифракционной микроструктуры на точность формирования заданного распределения интенсивности таких элементов.

Ключевые слова: Лазерная запись, дифракционные оптические элементы.

Цитирование: **Насыров, Р. К.** Влияние ошибок изготовления ДОЭ на распределение интенсивности света в задачах мультипликации и гомогенизации пучков /

Р. К. Насыров, Д. А. Белоусов, А. Г. Седухин, В. П. Корольков, В. Н. Хомутов //

HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 211–215.

Введение

В настоящее время, компьютерно-синтезированные дифракционные оптические элементы (КСДОЭ) все более широко используются в современных устройствах оптики, фотоники и оптоэлектроники. В особенности это касается оптических систем, в которых применяются монохроматические лазерные источники излучения. Применительно же к таким системам, можно выделить особую наиболее технологичную и востребованную на практике группу планарных КСДОЭ, которая включает в себя оптические мультипликаторы и гомогенизаторы лазерных пучков с бинарно-фазовым профилем дифракционной структуры. Отличие дифракционной структуры мультипликаторов и гомогенизаторов проявляется лишь в степени однородности этих структур. Так, если структура мультипликаторов имеет некоторую однородность с выраженной периодичностью повторения отдельных мелкоструктурных элементов (по одной или нескольким координатам), то структура гомогенизаторов, напротив, не имеет однородности и периодичности повторения элементов, то есть последняя структура принципиально выполняется чисто случайной. Для удобства пространственного рассредоточения световой энергии за фазовыми масками мультипликаторов и гомогенизаторов и упрощения структуры этих элементов, последние работают в оптических системах, как правило, в паре с Фурье-преобразующими рефракционными линзами.

Одним из вариантов стандартной на сегодня технологии изготовления бинарно-фазовых КСДОЭ, осуществляющих мультипликацию либо гомогенизацию лазерных пучков, является технология прямого лазерного синтеза амплитудных масок структуры КСДОЭ на кварцевых

подложках, с последующим переводом амплитудных масок в фазовые при помощи ионно-плазменного травления кварцевой подложки. В лаборатории дифракционной оптики ИАиЭ СО РАН накоплен многолетний опыт по расчету и изготовлению мультипликаторов и гомогенизаторов лазерных пучков по указанной технологии, базирующейся на использовании установки CLWS-300 и термохимического процесса формирования амплитудных масок на пленках металлов на кварцевых подложках. Учитывая одностадийность прямой лазерной записи амплитудных масок рассматриваемых элементов, точность изготовления структуры масок, в основном, определяется точностными характеристиками установки CLWS-300 и ее разрешающей способностью (диаметр сфокусированного лазерного пятна порядка 0,8 мкм). Основной же вклад в погрешность изготовления рассматриваемых элементов вносится при использовании настоящей технологии на этапе перевода амплитудных масок в фазовые [1]. Данная погрешность обусловлена, в основном, неточностью формирования глубины фазового профиля КСДОЭ.

1. Влияние на распределение интенсивности в порядках мультипликаторов

В настоящей работе было проведено численное моделирование оптического отклика типовых дифракционных структур мультипликаторов с остаточной технологической погрешностью по глубине травления подложки дифракционного элемента, которая приводит к погрешности в равномерности распределения световой интенсивности по порядкам дифракции. Следует отметить, что простейшие по технологии изготовления мультиплицирующие элементы выполняются, как правило, с бинарной фазовой структурой. Такие элементы можно легче тиражировать. Легче также контролировать структуру таких элементов. С другой стороны, следует различать два подвида данных элементов — это элементы с расчетной глубиной фазового профиля, равной π радианам и с расчетной глубиной фазового профиля, не равной π радианам. Технологическая погрешность в глубине фазового профиля названных элементов приводит к различному характеру распределения интенсивности по порядкам дифракции [2]. Для определения допусков на глубину фазового профиля наиболее эффективным средством является проведение численного моделирования. Однако, учитывая псевдослучайный характер фазового профиля данных элементов, представляется затруднительным выявить аналитические зависимости между неравномерностью распределения интенсивности света по порядкам и погрешностью глубины фазового профиля. С другой стороны, если заранее известен тип бинарно-фазового мультиплицирующего элемента и его коэффициент разветвления, то, как было нами установлено, все же можно выявить некоторые общие закономерности между коэффициентом разветвления и максимальным разбросом интенсивности света в рабочих порядках дифракции. В частности, было установлено, что указанный разброс растет, приближенно, пропорционально коэффициенту разветвления и квадратично по отношению к погрешности в глубине фазового профиля. Для структуры первого типа, иска-

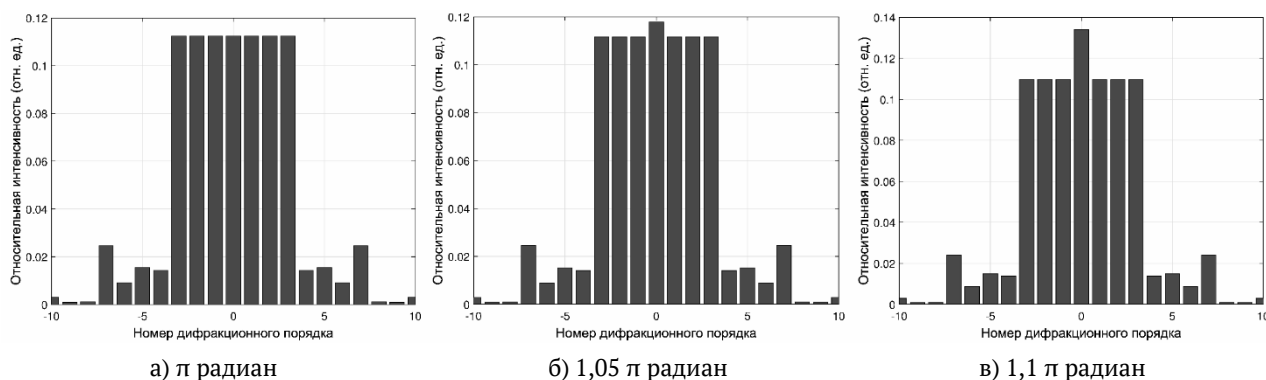


Рис. 1. Распределение относительной интенсивности дифракционных порядков для 7-порядковой решетки с различной фазовой глубиной

жается только величина интенсивности нулевого порядка. В качестве простейшей иллюстрации проведенного численного моделирования для мультиплицирующего элемента с коэффициентом разветвления 7 и с бинарно-фазовой структурой с глубиной фазового профиля равной π радианам (рисунок 1). Сравнение графиков на рисунках 1б и 1в подтверждает квадратичный рост разброса интенсивности нулевого порядка по отношению к другим рабочим порядкам для структуры с ошибкой фазового профиля, равной 5 % и 10 % соответственно.

2. Влияние ошибок изготовления на качество пучка гомогенизатора

Принцип действия гомогенизаторов основан на том, что оптический элемент преобразовывает исходный лазерный пучок с плохим распределением интенсивности в пучок заданной формы и с заданным профилем интенсивности. Для того чтобы гомогенизатор не был чувствителен к распределению интенсивности на входе он должен перемешивать входной пучок и на выходе формировать профиль интенсивности за счет усреднения по разным областям гомогенизатора. Для этих целей подходит дифракционный гомогенизатор, который рассчитывается при помощи итеративного алгоритма преобразования Фурье (IFTA) [3]. Суть использованного алгоритма заключается в том, что в плоскости элемента задается распределение интенсивности, соответствующее лазерному пучку и случайная фаза. При помощи быстрого преобразования Фурье вычисляется распределение и фаза в выходной плоскости. После этого, подставляется требуемое распределение интенсивности и при помощи быстрого обратного преобразования Фурье вычисляется интенсивность и фаза в плоскости оптического элемента (рисунок 2). Затем подставляется снова исходное распределение интенсивности и цикл повторяется. Итерации повторяются до тех пор, пока решение не становится стабильным.

Гомогенизаторы такого типа довольно устойчивы к изменению входного распределения интенсивности, но тем не менее при большом отклонении интенсивность в выходной плоскости начинает испытывать большие модуляции. При ошибке глубины профиля также возникает нулевой порядок, который дает равномерную засветку либо центральный пик, если гомогенизатор работает в дальней зоне. Результаты моделирования показывают, что при 10 %

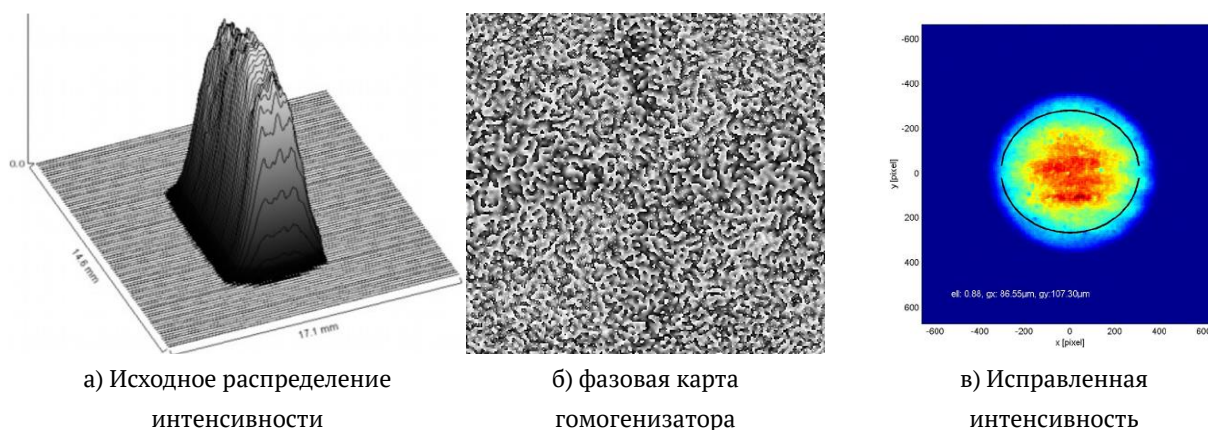


Рис. 2. Принцип работы гомогенизатора лазерного пучка

ошибке глубины травления в дальней зоне возникает центральный пик с амплитудой примерно в 20 раз превышающей максимум расчетного распределения и содержащего $\approx 5\%$ энергии пучка. Также существенно меняется форма распределения интенсивности и на ней возникают модуляции. Таким образом, это накладывает серьезные технологические требования к изготовлению микроструктуры гомогенизатора. В противном случае необходимо использовать такую оптическую схему, в которой есть возможность отфильтровать нулевой порядок. Тем не менее, такой тип гомогенизаторов обладает рядом преимуществ, т. к. он состоит только из одного элемента, что уменьшает стоимость и упрощает настройку. Кроме того, такой гомогенизатор позволяет формировать при необходимости распределение интенсивности более сложной формы, чем только равномерной.

Заключение

Результаты проведенных исследований показывают, что компьютерно-синтезированные дифракционные элементы позволяют эффективно решать задачи мультипликации и гомогенизации лазерных пучков. Однако, к таким элементам предъявляются повышенные требования по точности выполнения процесса травления. Для уменьшения нулевого порядка, который влияет на модуляцию интенсивности в выходной плоскости, до величины менее 5% , ошибка глубины травления должна быть в пределах $\pm 10\%$.

Благодарность

Работа выполнена за счет средств субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания (№ гос. регистрации АААА-А17-117052210002-7) с использованием оборудования ЦКП «Спектроскопия и оптика» ИАиЭ СО РАН.

Список источников

- [1] **Полещук, А. Г.** Методы оперативного контроля характеристик дифракционных оптических элементов в процессе изготовления / А. Г. Полещук, В. П. Корольков, Р. К. Насыров, В. Н. Хомутов, А. С. Конченко // Компьютерная оптика. — 2016. — Том 40. — № 6. — С. 818–829.
- [2] **Khomutov, V. N.** Measurement of diffraction efficiency of doe in many diffractive orders / V. N. Khomutov, A. G. Poleshchuk, V. V. Cherkashin // Computer optics. — 2011. — Vol. 35. — № 2. — P. 196–202.

- [3] **Ripoll, O.** Review of iterative fourier-transform algorithms for beam shaping applications / O. Ripoll, V. Kettunen, H. Herzig // Opt. Eng. — 2004. — Vol. 43. — P. 2549–2556