

УДК 629.78

ИССЛЕДОВАНИЕ ХРОМАТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИФРАКЦИОННОЙ ЛИНЗЫ

Коваленко А. И., Хонина С. Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Дифракционные оптические элементы (ДОЭ) применяются для миниатюризации и облегчения оптических систем. Кроме того, они позволяют сформировать световые пучки с такими свойствами, которые невозможно получить с помощью классических элементов рефракционной оптики. Однако ДОЭ характеризуются существенной хроматической аберрацией, которая может как негативно, так и позитивно сказываться в системах формирования изображений [1].

В данной работе рассматривается оптическая система, показанная на рисунке 1, где z_1 – расстояние от источника излучения до ДОЭ, z_2 – расстояние от ДОЭ до плоскости изображения. Будем считать, что от источника излучения идёт расходящаяся сферическая волна, для которой при больших z_1 получаем параллельные пучки света.

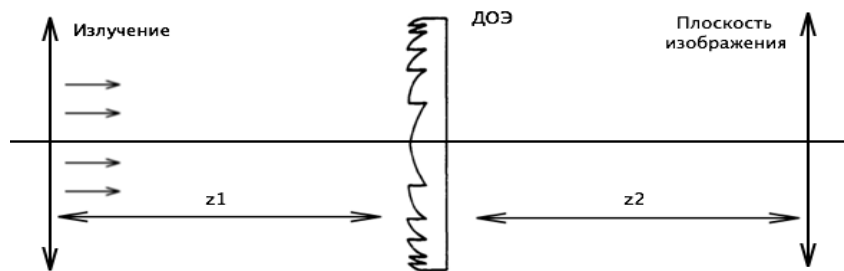


Рис. 1. Оптическая система с ДОЭ

Основное свойство ДОЭ – использование явления дифракции для изменения направления распространения световых лучей. Дифракционные элементы разбивают световой луч на множество лучей, каждый из которых перенаправляется под разными углами.

Для разных длин волн будет разным угол дифракции. Более длинные волны дифрагируют на больших углах, чем короткие длины волн. Таким образом, проявляется хроматический дисперсионный эффект. При уменьшении пропускной способности элемента остаточный свет, который не дифрагировался, проявляет себя как рассеяние в плоскости изображения. От глубины микрорельефа напрямую зависит возможность изготовления такого ДОЭ, поскольку в теории могут существовать ДОЭ с максимальной дифракционной эффективностью, однако изготовление таких элементов может быть достаточно трудоёмким процессом [1-3].

Основные этапы формирования ДОЭ:

- непрерывную фазовую функцию пропускания $\varphi(r)$ сводят к интервалу $[0, n2\pi)$, где n – число периодичности;
- полученную n – периодическую фазу $\varphi_t(r) = \text{mod}_{n2\pi}\varphi(r)$ квантуют с некоторым шагом по высоте, формируя m уровней.

Чем больше число уровней квантования фазы m , тем точнее полученная фаза повторяет рельеф непрерывного случая. А увеличение периодичности n позволяет приблизить дифракционный рельеф к рефракционному.

Целью данной работы является исследование интенсивности света на оптической оси, получаемой при прохождении света через многоуровневые дифракционные элементы при изменении уровней квантования и интервала, к которому приводится фаза элемента (периодичности n), а также внесение аберраций в ДОЭ в виде добавления к линзе собирающего или рассеивающего аксикона и фазового элемента с кубической радиальной фазовой функцией.

В ходе исследования были получены следующие результаты:

– при уменьшении уровней квантования элемента для разных длин волн излучения наблюдаются разные фокусные расстояния и происходит падение интенсивностей и распределение полезной энергии вдоль оптической оси;

– в случае добавления к дифракционному элементу искажений в виде рассеивающего или собирающего аксикона и фазового элемента с кубической радиальной фазовой функцией наблюдается смещение фокусного расстояния для всех длин волн и падение интенсивности и распределение энергии вдоль оптической оси;

– при изменении уровней квантования m элемента и приведение его фазы к различным интервалам периодичности $[0, n2\pi)$, где $n = 1, 2, \dots, 10$, как и в первом случае, наблюдаются разные фокусные расстояния для разных длин волн, и при увеличении данных параметров так и не удаётся устранить хроматическую аберрацию.

Также в рамках данного исследования было рассмотрено формирование конкретного изображения при изменении уровней квантования ДОЭ. Качество изображения, получаемое с помощью бинарного элемента, оказалось совершенно недостаточным для формирования цветных изображений. Однако, начиная с восьмого уровня квантования m элемента и выше, качество получаемого изображения приближается к качеству, получаемому с помощью рефракционной линзы [4].

Однако проблема, связанная с хроматической аберрацией ДОЭ, когда для разных длин волн получаем разные фокусные расстояния, может быть преодолена путём внесения в элемент различных аберраций.

Библиографический список

1. Грейсух, Г.И. Сравнительный анализ хроматизма дифракционных и рефракционных линз [Текст]/ Г. И. Грейсух, Е. Г. Ежов, С. А. Степанов // Компьютерная оптика. – 2005. – Вып. 28. – С. 60-65.
2. Francesco Aieta, Mikhail A. Kats, Patrice Genevet, Federico Capasso Multiwavelength achromatic metasurfaces by dispersive phase compensation // Scincepress. 2015. P. 1-8.
3. G. J. Swanson. Binary Optics Technology: The Theory and Design of Multi-level Diffractive Optical Elements // Technical Report. 1989. P. 1-47.
4. Казанский Н.Л., Хонина С.Н., Скиданов Р.В., Морозов А.А., Харитонов С.И., Волотовский С.Г. Формирование изображений дифракционной многоуровневой линзой// Компьютерная оптика. – 2014. – Том 38, №3. – С. 425-434.