

Оптимизация параметров системы гармонических линз по критерию минимального фокального сдвига

С.В. Ганчевская

Институт систем обработки изображений – филиал ФНИЦ
"Кристаллография и фотоника" РАН
Самарский национальный исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
sofi@ipsiras.ru

В.С. Васильев

Самарский национальный исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
vadimka.vasilev.93@mail.ru

Аннотация—Рассматривается метод оптимизации параметров системы из нескольких гармонических линз. В качестве минимизируемого параметра используется величина сдвига основной фокальной плоскости. В основе метода используется трассировка лучей в специально разработанной исследовательской программе "HarmLens".

Ключевые слова— гармоническая линза, объектив, фазовая функция, функция рассеяния точки.

1. ВВЕДЕНИЕ

Дифракционная линза с многоуровневым микрорельефом позволяет формировать изображение приемлемого качества в узком спектральном диапазоне [1]. Однако высокий хроматизм дифракционных линз [1] не дает возможность формирования качественных изображений в белом свете. Так называемые гармонические линзы [2-4] формируют изображения с существенно меньшими хроматическими аберрациями, но качество изображений относительно плохое в сравнении с качеством в современных объективах. Для компенсации хроматических искажений необходимо использование дополнительной цифровой обработки [6]. Дифракционные или гармонические линзы аппроксимируют своим рельефом, как правило, либо сферическую либо параболическую линзу [3-5] и позволяют формировать пучки, близкие к гомоцентрическим. Использование дифракционных линз в составе многолинзового объектива рассматривается только в одном качестве, в виде компенсатора хроматических аберраций [6-8]. Однако гармонические линзы имеют ряд свойств, которые делают перспективным их использование в объективах: так же, как и дифракционные линзы, система из нескольких гармонических линз может быть компактной, по трудоемкости изготовления ничем не отличаются от гармонических линз, аппроксимирующих сферические линзы, т.е. в объективе возможно использование любой асферики. Ну и наконец, система гармонических линз за счет варьирования дискретных наборов длин волн (гармоник) линз, входящих в систему, позволяет в довольно широком спектральном диапазоне минимизировать смещение основного фокуса при изменении длины волны до уровня аналогичного смещения рефракционного объектива.

2. ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОДИНОЧНОЙ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ЛИНЗОЙ

Гармоническая линза по сравнению с дифракционной линзой имеет существенно меньший хроматизм. Так фокусное расстояние дифракционной линзы меняется обратно пропорционально длине волны, и это изменение в рамках видимого диапазона сопоставимо с самой величиной фокусного расстояния. Согласно [2] изменение оптической силы определяется формулой

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{1}{m}, \quad (1)$$

где f – фокусное расстояние, P – оптическая сила гармонической линзы на расчетной длине волны, ΔP и Δf – изменение оптической силы фокусного расстояния при изменении длины волны на $\Delta \lambda$ при расчетной длине волны λ , m – коэффициент, показывающий во сколько раз высота микрорельефа гармонической линзы больше высоты дифракционной линзы для этой же длины волны. Таким образом, с ростом m уменьшается Δf и тем самым уменьшается хроматизм.

На рис. 1 представлен график зависимости Δf от длины волны для гармонической линзы с $m = 20$.

Как видно из рис. 1 при довольно большой высоте микрорельефа ($m = 20$, высота примерно 16 мкм) смещение основной фокальной плоскости слишком велико для получения качественного изображения.

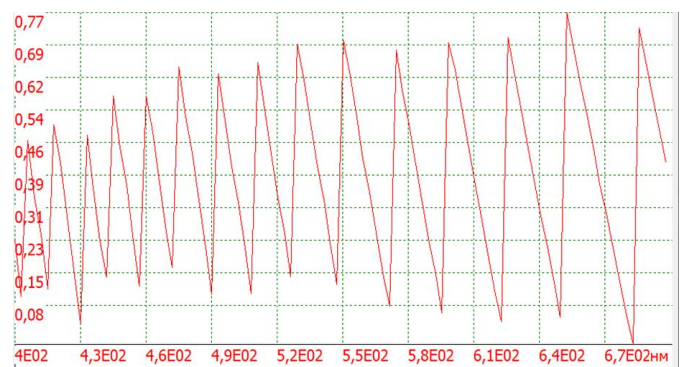


Рис. 1. Отклонение фокусного расстояния Δf для гармонической линзы с расчетным фокусным расстоянием 20 мм для длины волны 400 нм $m = 20$

Система из нескольких линз при определенном подборе таких параметров как m , фокусные расстояния линз, расстояния между линзами позволяет получить решение для довольно широкого спектрального

диапазона. На рис. 2 показано смещение основной фокальной плоскости для 8-ми линзовой системы с $m = 6$ и $m = 7$.

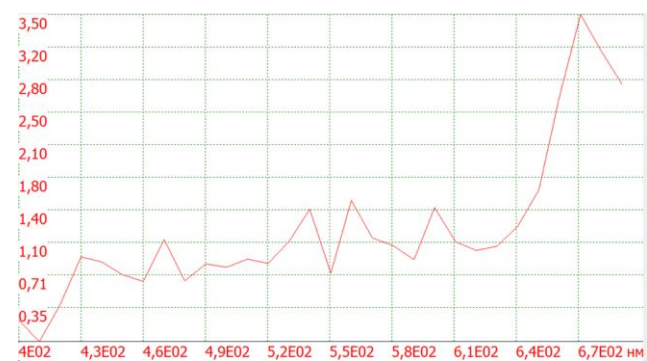


Рис. 2. Смещение фокуса для системы из 8 гармонических поверхностей с общим фокусным расстоянием 20 мм, $m = 6$ или $m = 7$

Как видно из рис. 2 в диапазоне от 420 нм до 650 нм, т.е. практически во всем видимом диапазоне, смещение основной фокальной плоскости системы не более 0,45 мм. Решение получено в результате полнопереборной оптимизации параметров оптической системы с ограничением m , которое менялось в диапазоне от 4 до 7.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 20-69-47110.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Казанский, Н.Л. Формирование изображений дифракционной многоуровневой линзой // Н.Л. Казанский, С.Н. Хонина, Р.В. Скиданов, А.А. Морозов, С.И. Харитонов, С.Г. Волоотовский // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 425-434. DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-3-425-434.
- [2] Sweeney, D.W. Harmonic diffractive lenses / D.W. Sweeney, G.E. Sommargren // Applied Optics. – 1995. – Vol. 34(14). – P. 2469-2475.
- [3] Хонина, С.Н. Сравнительное исследование спектральных свойств асферических линз / С.Н. Хонина, А.В. Устинов, Р.В. Скиданов, А.А. Морозов // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 3. – С. 363-369. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-3-363-369.
- [4] Rosli, A. Design and fabrication of Si-HDPE hybrid Fresnel lenses for infrared imaging systems / A. Rosli, A. Manaf, T. Sugiyama, J. Yan // Optic Express. – 2017. – Vol. 25. – P.1202-1220.
- [5] Nikonorov, A. Fresnel lens imaging with post-capture image processing / A. Nikonorov, R. Skidanov, V. Fursov, M. Petrov, S. Bibikov, Y. Yuzifovich // IEEE Comput. – 2015. – P. 15554158.
- [6] Greisukh, G.I. Limiting spectral and angular characteristics of multilayer relief-phase diffraction microstructures / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, A.I. Antonov, V.A. Danilov, B.A. Usievich // Quantum Electronics. – 2020. – Vol. 50(7). – P. 623-628.
- [7] Greisukh, G.I. Spectral and Angular Dependences of the Efficiency of Three-Layer Relief-Phase Diffraction Elements of the IR Range / G.I. Greisukh, V.A. Danilov, S.A. Stepanov, A.I. Antonov, B.A. Usievich // Optics and Spectroscopy. – 2018. – Vol. 125(2). – P. 232-237.
- [8] Antonov, A.I. Diffractive elements for imaging optical systems / A.I. Antonov, G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, S.A. Stepanov // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2017. – Vol. 53(5). – P. 421-430.
- [9] Хонина, С.Н. Линзакон: непараксиальные эффекты / С.Н. Хонина, Н.Л. Казанский, А.В. Устинов, С.Г. Волоотовский // Оптический журнал. – 2011. – Т. 78, № 11. – С. 44-51.