

Расчет и изготовление согласованных микрорельефов гармонических и спектральных линз для дисперсионных элементов

Р. В. Скиданов, С. В. Ганчевская

¹ Институт систем обработки изображений РАН — филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Самара, Россия

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, Самара, Россия

Рассмотрен метод согласованного расчета двух близкорасположенных микрорельефов гармонических линз (прижатые подложки), позволяющий минимизировать влияние неперпендикулярности переходных поверхностей на границах зон. Проведен вычислительный эксперимент, доказывающий работоспособность такой системы при формировании изображения.

Ключевые слова: Гармонические линзы, согласованный микрорельеф, технология прямой лазерной записи.

Цитирование: Скиданов, Р. В. Расчет и изготовление согласованных микрорельефов гармонических и спектральных линз для дисперсионных элементов / Р. В. Скиданов, С. В. Ганчевская // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 446–450.

Введение

Использование дифракционных линз в изображающих системах позволяет решить множество задач: уменьшение размеров и массы объектива, снижение величины геометрических и хроматических aberrаций. Кроме этого, следует заметить, что дифракционные линзы способны аппроксимировать своими свойствами любую асферическую поверхность.

Введение в оптическую схему асферических линз один из способов получения высокого качества изображения в современных смартфонах. Поскольку толщина корпуса смартфона уже не позволяет разместить компактные объективы при нормальном расположении, в последних моделях используется конфигурация оптической системы с использованием поворотной призмы. Минимизация размеров объектива является актуальной задачей, без решения которой невозможно дальнейшее сокращение размеров таких устройств [1–8]. За счёт особой формы дифракционных асферических линз возможно уменьшить хроматизм, однако относительно высокая хроматическая aberrация таких элементов приводит к необходимости программной обработки изображений [9]. С одной стороны, дополнительная обработка изображения подходит для регистрирующих устройств в современных смартфонах, обладающих высокими вычислительными мощностями, с другой стороны, оптическое разрешение в современных смартфонах настолько высоко, что

цифровой обработки недостаточно и желательно использование объектива, сопоставимого по качеству изображения с объективами классического типа на основе большого количества рефракционных линз. Чаще, при построении мобильных оптических систем, используют гибридные системы, включающие как дифракционные, так и рефракционные элементы [10–13]. Однако гибридные системы при построении не используют все возможности дифракционных линз. В рамках данной работы рассматриваются возможности формирования распределения фазы светового поля линзой за счет использования двух близко расположенных микрорельефов гармонических линз [14].

1. Расчет согласованного микрорельефа

Согласованные микрорельефы линз рассчитываются исходя из условия: сумма фазовых функций в двух микрорельефах должна соответствовать фазовой функции параболической линзы. Сочетаний форм микрорельефов удовлетворяющих этому условию бесконечное количество. Оптимальная форма определялась в программе Harmony путем минимизации функции рассеяния точки на краю поля зрения и минимизации рассеянного света от участков поверхности с обратным наклоном (рис. 1). На рис. 1 показано как отличаются реальные поверхности в гармонической линзе и их отличие от расчетных при формировании микрорельефа методом прямой лазерной записи. Такого рода ошибка изготовления связана с наличием широкого конуса фокусировки и довольно сильно влияет на работу линзы с высокой числовой апертурой за счет рассеяния значительной доли света.

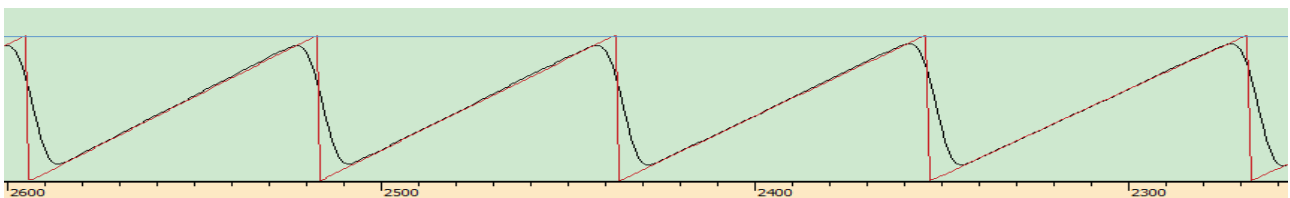


Рис. 1. Участок профилограммы изготовленной линзы (плавная линия) с наложенной на нее кривой идеального профиля (ломаная линия)

В этом методе менялась форма поверхности первой гармонической линзы, а также высота от 1 мкм до 5 мкм. Вторая линза автоматически рассчитывалась так, чтобы в совокупности волна, идущая вдоль оптической оси получила фазовую добавку, такую же как от параболической линзы с высотой микрорельефа 6 мкм. Расчет велся для линзы диаметром 10 мм и фокусным расстоянием 100 мм с расстоянием между микрорельефами 100 мкм. Угол для которого велся расчет полихроматической функции рассеяния точки 8° .

В результате такого расчета получилось несколько десятков интересных решений в виде сочетания двух профилей микрорельефа. На рис. 2 приведено одно из таких решений.

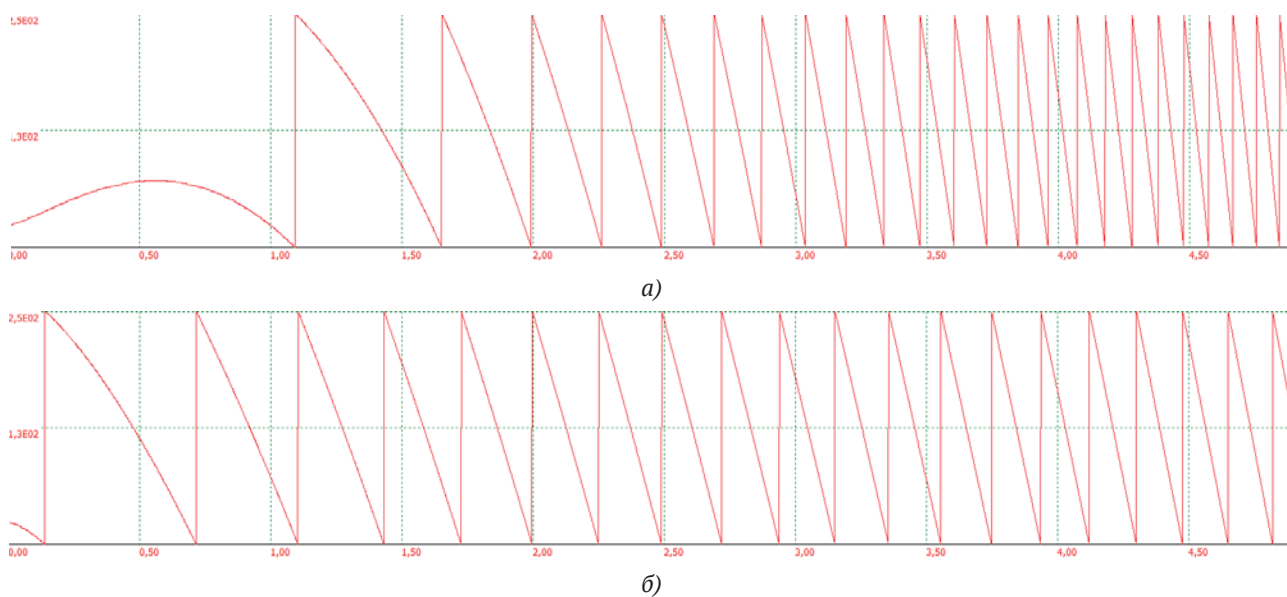


Рис. 2. Два профиля гармонических линз дающие минимальную ширину функции рассеяния точки под углом 8°

2. Вычислительный эксперимент

В программе Harmony было проведено моделирование рассчитанной системы двух гармонических линз. Была рассчитана функция рассеяния точки для этой системы под углом 8° (рис. 3а) и под этим же углом была получена функция рассеяния точки для одиночной гармонической параболической линзы с высотой микрорельефа 6 мкм (рис. 3б).

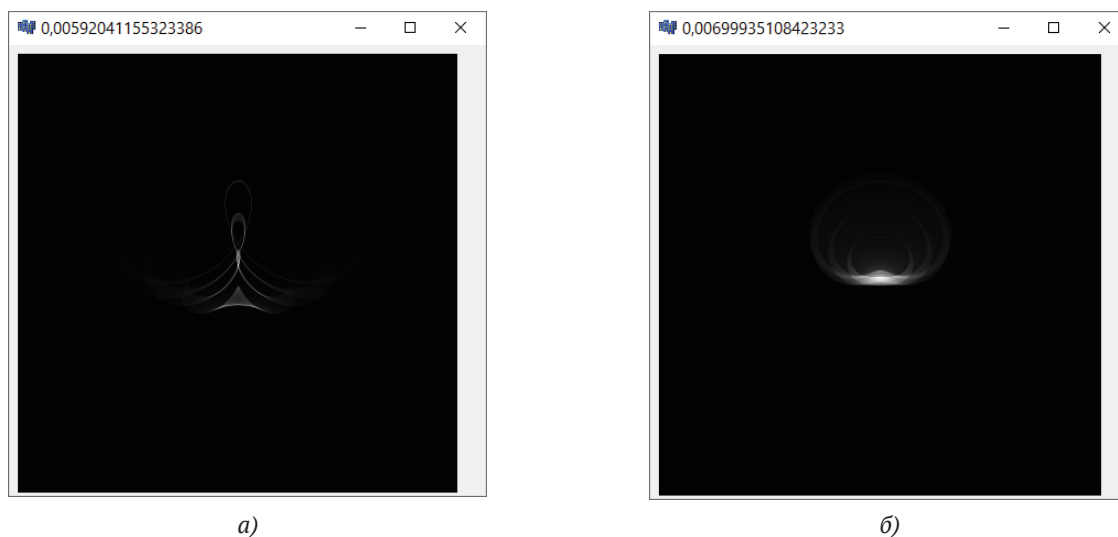


Рис. 3. Функция рассеяния точки для системы согласованных гармонических линз в квадрате со стороной 30мкм (а), функция рассеяния точки для одиночной параболической гармонической линзы 30мкм (б)

Программа Harmony измеряет ширину функции рассеяния точки и выводит это значение в мм вверху графического окна. Для системы гармонических линз значение 6 мкм для одиночно гармонической линзы 7 мкм. Кроме этого в такой системе доля рассеянного света

от поверхностей обратного наклона составляет всего 0,09 по сравнению с 0,11 в одиночной гармонической линзе.

Заключение

Проведенный вычислительный эксперимент показал возможность улучшения абберационных характеристик гармонической линзы при разделении ее на два микрорельефа, т.е. на две согласованные гармонические линзы. Такой подход также позволяет снизить долю рассеянного света на поверхностях обратного наклона, возникающих из-за ошибок технологического процесса.

Благодарность

Работа выполнена в рамках реализации Программы развития Самарского университета на 2021–2030 годы в рамках программы «Приоритет-2030» при поддержке Правительства Самарской области.

Список источников

- [1] **Meem, M.** Versatile diffractive flat optics [Text] / M. Meem, S. Banerji, A. Majumder, C. Pies, T. Oberbiermann, B. Sensale-Rodriguez, R. Menon // *Applied Physics Letters*. – 2020. – Vol. 117. – P. 041101.
- [2] **Banerji, S.** Imaging with flat optics: metalenses or diffractive lenses? [Text] / S. Banerji, M. Meem, A. Majumder, F.G. Vasquez, B. Sensale-Rodriguez, R. Menon // *Optica*. – 2019. – Vol. 6. – № 6. – P. 805.
- [3] **Park, S.** Electrically focus-tuneable ultrathin lens for high-resolution square subpixels [Text] / S. Park, G. Lee, B. Park, Y. Seo, C. Park, Y.T. Chun, C. Joo, J. Rho, J.M. Kim, J. Hone, S.Ch. Jun // *Light. Sci. Appl.* – 2020. – Vol. 5. – № 9. – P. 98.
- [4] **Lin, H.** Diffraction-limited imaging with monolayer 2D material-based ultrathin flat lenses [Text] / H. Lin, Z. Xu, G. Cao, Yu. Zhang, J. Zhou, Z. Wang, Zh. Wan, Zh. Liu, K.P. Loh, C. Qiu, Q. Bao, B. Jia // *Light. Sci. Appl.* – 2020. – Vol. 11. – № 9. – P. 137.
- [5] **Banerji, S.** Impact of fabrication errors and refractive index on multilevel diffractive lens performance / S. Banerji, J. Cooke, B. Sensale-Rodriguez // *Sci. Rep.* – 2020. – Vol. 10. – P. 14608
- [6] **Greisukh, G. I.** Limiting spectral and angular characteristics of multilayer relief-phase diffraction microstructures [Text] / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, A.I. Antonov, V.A. Danilov, B.A. Usievich // *Quant. Electron.* – 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 [Text] / G.I. Greiskh, V.A. Danilov, S.A. Stepanov, A.I. Antonov, B. A. Usievich // *Opt. Spectrosc.* – 2018. – Vol. 125. – № 2. – P. 232-237.
- [8] **Antonov, A. I.** Diffractive elements for imaging optical systems [Text] // 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] **Nikonorov, A. V.** Toward ultralightweight remote sensing with harmonic lenses and convolutional neural networks / A. V. Nikonorov, M. V. Petrov, S. A. Bibikov, P. Y. Yakimov, V. V. Kutikova, Y. V. Yuzifovich, A. A. Morozov, R. V. Skidanov, N. L. Kazanskiy // *IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 11. – № 9. – P. 3338-3348.
- [10] **Mao, S.** Design and analysis of a hybrid optical system containing a multilayer diffractive optical element with improve diffraction efficiency [Text] / S. Mao, J. Zhao // *Appl. Opt.* – 2020. – Vol. 59. – №20. – P. 5888.

- [11] **Piao, M.** Design of achromatic annular folded lens with multilayer diffractive optics for the visible and near-IR wavebands [Text] / M. Piao, B. Zhang, K. Dong // Opt. Express. – 2020. – Vol. 28. – № 20. – P. 29076.
- [12] **Choi, H.** Design of hybrid lens for compact camera module considering diffraction effect [Text] / H. Choi, Y. J. Yoon, B. Kim, S. H. Lee, W. C. Kim, N. C. Park, Y. P. Park, S. Kang [Text] // Jap. J. Appl. Phys. – 2008. – Vol. 47. – № 8. – P. 6678.
- [13] **Greisukh, G. I.** Correction of chromatism of dual-infrared zoom lenses [Text] / G. I. Greisukh, E. G. Ezhov, A.I. Antonov // Computer Optics. – 2020. – Vol. 44. – № 2. – P. 177-184.
- [14] **Sweeney, D. W.** Harmonic diffractive lenses / D. W. Sweeney, G. E. Sommargren // Applied Optic – 1995. – Vol. 34. P. 2469-2475.

Calculation and fabrication of matched microreliefs of harmonic and spectral lenses for dispersion elements

R. V. Skidanov, S. V. Ganchevskaya

¹ Image Processing Systems Institute of the RAS – Branch of the FSRC «Crystallography and Photonics» of the RAS, Samara, Russia

² Samara National Research University, Samara, Russia

We have considered a method for the coordinated calculation of two closely spaced microreliefs of harmonic lenses (pressed substrates), which allows minimizing the influence of nonverticality of transition surfaces at the boundaries of zones. We conducted a computing experiment proving the operability of such a system when forming an image.

Keywords: Harmonic lenses, Microrelief, Direct laser recording technology.