

30. Гармоническая линза с дифракционной решеткой для формирования гиперспектральных изображений

В. А. Бланк, Р. В. Скиданов

Институт систем обработки изображений Российской академии наук — филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, Самара, Россия

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

Рассчитан и изготовлен элемент с микрорельефом гармонической линзы и дифракционной решетки на станции лазерной записи в резисте. Фокусное расстояние линзы 120 мм, период решетки 10 мкм. Высота рельефа 6 мкм. Был собран лабораторный макет изображающего гиперспектрометра, основанного на этом элементе. На основе произведенных натурных экспериментов получены серии гиперспектральных изображений.

Ключевые слова: Гармоническая линза, Гиперспектрометр, Дифракционная решетка, Дифракционные оптические элементы.

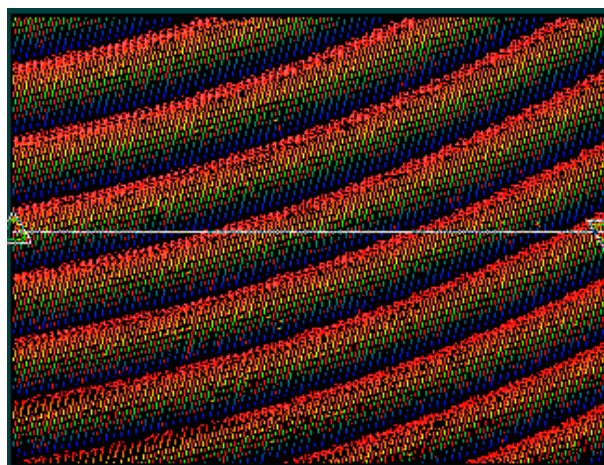
Цитирование: Бланк, В. А. Гармоническая линза с дифракционной решеткой для формирования гиперспектральных изображений / В. А. Бланк, Р. В. Скиданов // HOLOEXPO 2018 : XV международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — С. 135–137.

Введение

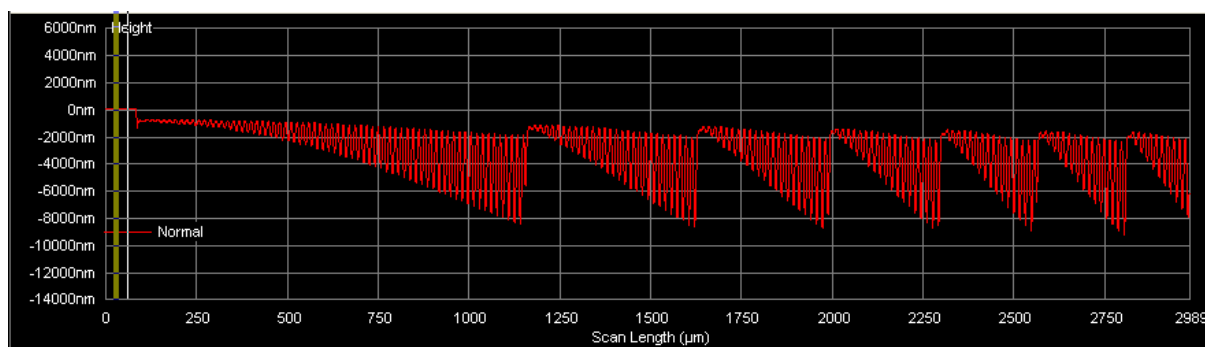
В последнее время появилось много конструкций спектрометров, которые можно использовать совместно с мобильными устройствами [1–5]. Их использование позволяет любому человеку проводить ряд анализов, которые до этого были доступны только специализированным лабораториям. Действительно, оптическая схема спектрометра относительно несложная, и ее реализация не представляет особого труда. Однако очень часто для проведения качественного спектрального анализа возможностей обычного спектрометра недостаточно, нужен изображающий спектрометр (гиперспектрометр). В последнее десятилетие гиперспектрометры широко используются в различных областях исследований. Чаще всего такие гиперспектрометры используют на спутниках или самолетах, но в последнее время все больший интерес вызывают миниатюрные спектрометры для создания портативных устройств [1]. К сожалению, оптическая схема изображающего спектрометра, сложнее оптической схемы обычного спектрометра, это связано с необходимостью минимизации абберационных искажений в спектральном блоке. Часто такие спектрометры имеют в своем

составе технологически сложные дисперсионные элементы [6]. Это и является основным препятствием для создания гиперспектрометра, который можно было бы использовать в изображающем режиме вместе со смартфоном.

В [1] описывается спектрометр, сделанный на основе, стандартной дифракционной решетки и стандартной линзы Френеля. Это очень технологичный



б)



а)

Рис. 1. Сечение рельефа краевого участка гармонической линзы с дифракционной решеткой, полученных на профилометре (а), интерферометре белого света Zygo (б)

подход, но понятно, что уровень aberrаций в такой конструкции не позволит использовать ее в изображающем режиме. Устройства, использующие в своем составе гармоническую линзу, позволяют существенно уменьшить массу, так как толщина гармонической линзы — это толщина пластины, на которой нанесен рельеф [1, 2]. Чем выше высота микрорельефа гармонической линзы, тем ближе свойства гармонической линзы к рефракционной линзе [7–10].

1. Разработка и изготовление

В работе [11] нами был рассмотрен спектрометр на основе элемента, сочетающего в себе свойства дифракционной линзы и решетки-линзы-решетки. Линза-решетка была изготовлена с фокусным расстоянием 12 мм для длины волны 550 нм. Диаметр линзы 15 мм. Плоскость регистрировала спектр от 400 нм до 700 нм.

На основе проведенных натурных экспериментов было доказано, что такая схема работоспособна, но подобрать угол наклона регистрирующей плоскости затруднительно и при малейшей неточности результат оказывается неудовлетворительным. В связи с этим было предложено изготовить элемент, который бы в себе сочетал рельеф гармонической линзы и дифракционной решетки, так как в таком случае у нас все так же остается компактный размер спектрометра, но вот регистрирующую плоскость можно установить обычным образом — перпендикулярно оптической оси.

Гармоническая линза — это дифракционная линза, в которой есть несколько длин волн (гармоник), точно фокусируемых в расчетной фокальной плоскости [10].

На станции лазерной записи был изготовлен элемент с микрорельефом в резисте, нанесенным на кварцевую подложку, который сочетает рельеф гармонической линзы и дифракционной решетки. Фокусное расстояние линзы 120 мм, период решетки 10 мкм. Высота рельефа 6 мкм. На рис. 1 представлено сечение микрорельефа этого элемента, полученное при измерении на профилометре на интерферометре белого света Zygo.

Внешний вид элемента, записанного на станции лазерной записи, представлен на рис. 2.

Произведем некоторые расчеты по изготовленной гармонической линзе.

Количество гармоник, укладывающихся в видимом диапазоне от 400 нм до 700 нм всего 4, так как для $\lambda = 550$ нм и $m = 6$ мы получаем табл. 1, где k — дифракционное число.

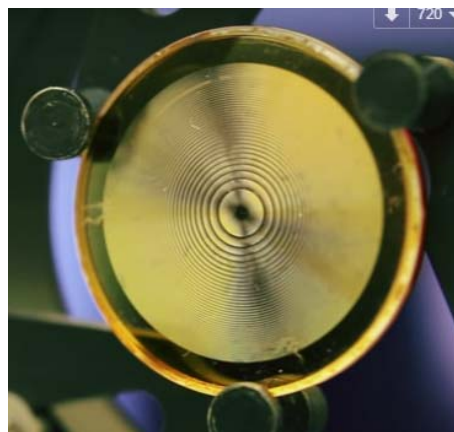


Рис. 2. Внешний вид гармонической линзы с дифракционной решеткой

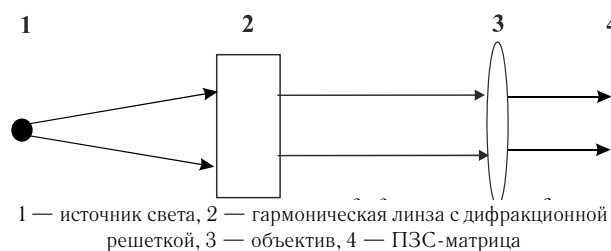


Рис. 3. Оптическая схема изображающего спектрометра, основанного на гармонической линзе с дифракционной решеткой



Рис. 5. Изображающий гиперспектрометр, используемый со смартфоном

На основе гармонической линзы с дифракционной решеткой был собран изображающий спектрометр, оптическая схема которого продемонстрирована на рис. 3. В качестве источника света 1 использовался прожектор со светодиодами, 2 — гармоническая линза

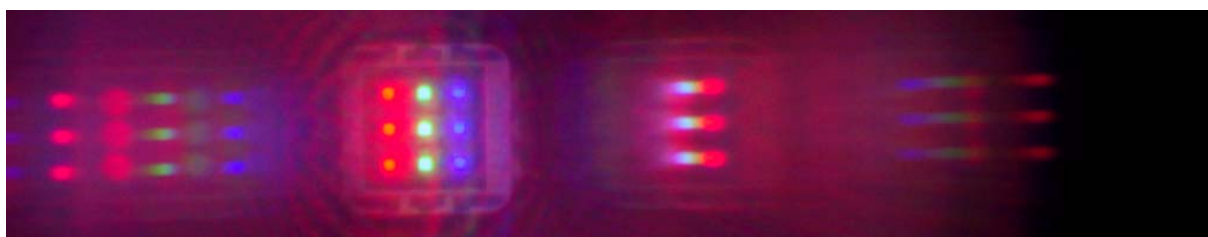


Рис. 4. Изображение, полученное при помощи спектрометра с гармонической линзой и дифракционной решеткой

с дифракционной решеткой, 3 — объектив, который располагался на расстоянии $f_1 + f_2$, 4 — ПЗС-матрица.

При проведении эксперимента были получены спектральные распределения набора точечных источников. Эти распределения продемонстрированы на рис. 4. Как видно из этих распределений, для точечного источника спектр виден и без использования щелевой диафрагмы.

Такой элемент наиболее удобен для использования в сверхгабаритных спектрометрах, которые можно использовать в виде приставки к смартфону. На рис. 5 продемонстрирован лабораторный макет такого спектрометра.

Табл. 1. Длины волн, точно фокусируемые гармонической линзой

λ , нм	k
412	8
472	7
550	6
660	5

Закключение

Рассчитан и изготовлен элемент, сочетающий в себе свойства дифракционной решетки и линзы. На основе изготовленного дифракционного оптического элемента был собран изображающий гиперспектрометр в виде приставки к смартфону.

Список источников

- [1] Yang, C. Demonstration of a PDMS based hybrid grating and Fresnel lens (G-Fresnel) device / C. Yang, K. Shi, P. Edwards, Z. Liu // Optics Express. — 2010. — Vol. 18 (23). — P. 23529–23534.
- [2] Alphanov. Spectrometer for smartphone: gospectro / URL: <http://www.alphanov.com/56-spectroscopy-gospectro---spectrometer-for-smartphone.html>.
- [3] UPB. Smartphone spectrometer / URL: <http://www.upb.edu/en/contenido/smartphone-spectrometer>.
- [4] Cai, F. Pencil-like imaging spectrometer for biosamples sensing / F. Cai, D. Wang, M. Zhu, S. He // Biomedical optics express. — 2017. — Vol. 8 (12). — P. 5427–5436.
- [5] Lightingpassport / URL: <https://www.lightingpassport.com>.
- [6] Карпеев, С. В. Исследование дифракционной решётки на выпуклой поверхности как диспергирующего элемента / С. В. Карпеев, С. Н. Хонина, С. И. Харитонов // Компьютерная оптика. — 2015. — Том 39. — № 2. — С. 211–217.
- [7] Харитонов, С. И. Геометрооптический расчет фокального пятна гармонической дифракционной линзы / С. И. Харитонов, С. Г. Волотовский, С. Н. Хонина // Компьютерная оптика. — 2016. — Том 40. — № 3. — С. 331–337.
- [8] Хонина, С. Н. Анализ фокусировки гармонической дифракционной линзой с учётом дисперсии показателя преломления / С. Н. Хонина, С. Г. Волотовский, А. В. Устинов, С. И. Харитонов // Компьютерная оптика. — 2017. — Том 41. — № 3. — С. 338–347. — DOI:10.18287/2412-6179-2017-41-3-338-347.
- [9] Wood, A. P. Design of infrared hybrid refractive-diffractive lenses / A. P. Wood // Applied optics. — 1992. — Vol. 31 (13). — P. 2253–2258.
- [10] Sweeney, D. W. Harmonic diffractive lenses / D. W. Sweeney, G. E. Sommargren // Applied Optics. — 1995. — Vol. 34 (14). — P. 2469–2475.
- [11] Бланк, В. А. Дифракционные оптические элементы с двойной функциональностью в изображающих гиперспектрометрах / В. А. Бланк, Р. В. Скиданов // Голография. Наука и практика. — 2016. — С. 191–193.

Harmonic lens with diffraction grating for the formation of hyperspectral images

V. A. Blank, R. V. Skidanov

Image Processeing Systems of the Russian Academy of Science — Branch of the Federal Science Research Center “Crystallography and Photonics” of the Russian Academy of Science, Samara, Russia
Samara University, Samara, Russia

The element was calculated and fabricated with a microrelief of a harmonic lens and a diffraction grating at a laser recording station in a resist. The focal length of the lens is 120 mm, the grating period is 10 μm . The height of the relief is 6 μm . A laboratory model of a hyperspectrometer based on this element was assembled. A series of hyperspectral images were obtained on the basis of the experiments performed.

Keywords: Harmonic lens, Hyperspectrometer, Diffraction grating, Diffraction optical elements.