

Гиперспектрометр, основанный на гармонической линзе с дифракционной решеткой

В.А. Бланк^{1,2}, Р.В. Скиданов^{1,2}

¹Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. Изготовлена гармоническая линза с дифракционной решеткой на кварцевой подложке. Мы исследовали компактный изображающий спектрометр, основанный на гармонической линзе с дифракционной решеткой. Показана работоспособность устройства.

1. Введение

В последнее десятилетие гиперспектрометры широко используются в различных областях исследований. Традиционно, спектрометры состоят из нескольких оптических элементов, что делает их громоздкими и дорогостоящими. В последнее время все больший интерес вызывают миниатюрные спектрометры для создания портативных устройств [1].

Существует несколько способов решения этой проблемы, например, использование вогнутых решеток [2] и дифракционных линз [3, 4]. Однако подход к миниатюризации гиперспектрометра описанный в [2] подходит для использования в бортовой аппаратуре для авиации и космической техники, однако из-за сложности оптической схемы дальнейшая миниатюризация возможна, но экономически нецелесообразна. Подход, описанный в [3] связан с высокой сложностью алгоритмов обработки полученной информации, и часто не позволяет получить достаточное спектральное разрешение. Один из наиболее удачных решений в миниатюризации спектрометров предложен в [1], где использовался ДОЭ, сочетающий в себе свойства линзы и дифракционной решетки [1]. В этом случае вся оптическая схема изображающего спектрометра сводится к этому элементу и ПЗС матрице. Однако предложенный подход можно еще более усовершенствовать. В работах [5,6] рассмотрен не изображающий спектрометр, основанный на дифракционной линзе, которая была сформирована на одной стороне стеклянной пластины, а дифракционная решетка на другой. ПЗС-матрица в таком спектрометре должна быть расположена под определенным углом, чтобы каждая длина волны находилась в фокусе, а это вызывает существенные технические проблемы при юстировке.

Существует элемент, который сочетает в себе как рефракционные, так и дифракционные свойства – это гармоническая линза. Гармоническим интервалом называется приведение фазы к уровню $2\pi N$. Очевидно, чем больше значение N , тем ближе свойства гармонического ДОЭ к рефракционному элементу [7-10].

В нашей работе мы решили рассмотреть возможность использования гармонической линзы с дифракционной решеткой в изображающем спектрометре. Тем самым мы получаем компактный прибор, в котором ПЗС-матрица располагается перпендикулярно к оптической оси.

2. Изображающий спектрометр на основе гармонической линзы с дифракционной решеткой

На станции лазерной записи был изготовлен элемент на кварцевой подложке, который сочетает рельеф гармонической линзы и дифракционной решетки. На рисунке 1 изображен рельеф элемента, полученный на Zygo.

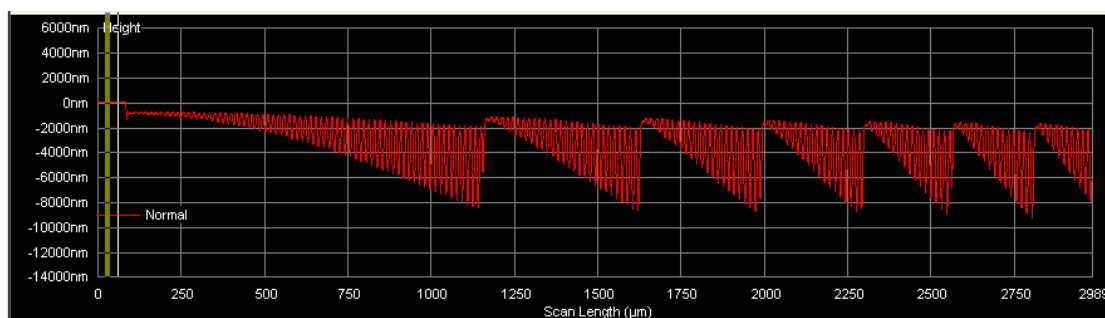


Рисунок 1. Рельеф гармонической линзы с дифракционной решеткой.

На основе гармонической линзы с дифракционной решеткой был собран изображающий спектрометр, оптическая схема которого продемонстрирована на рисунке 2. В качестве источника света (1) использовался прожектор со светодиодами, 2 – гармоническая линза с дифракционной решеткой, 3 – объектив, который располагался на расстоянии f_1+f_2 и 4 – ПЗС-матрица.

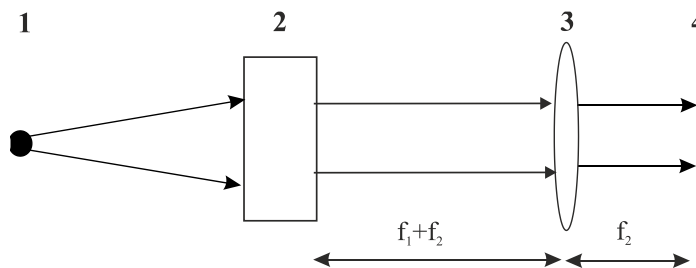


Рисунок 2. Оптическая схема изображающего спектрометра, основанного на гармонической линзе с дифракционной решеткой.

При проведении эксперимента были получены спектральные распределения набора точечных источников. Эти распределения продемонстрированы на рисунке 3. Как видно из этих распределений, для точечного источника спектр виден и без использования щелевой диафрагмы.

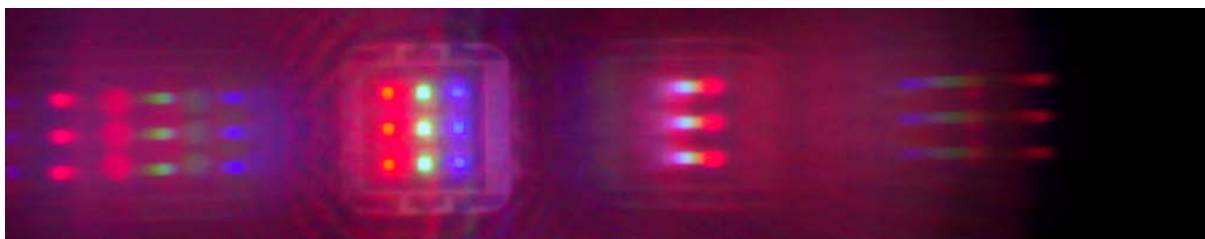


Рисунок 3. Изображение, полученное при помощи спектрометра с гармонической линзой и дифракционной решеткой.

На рисунке 4 представлено сечение, полученное из сшитых спектральных распределений отдельных точечных источников.

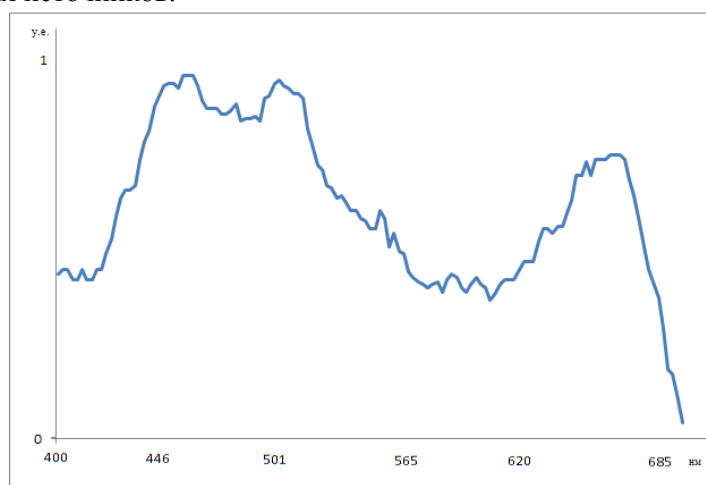


Рисунок 4. Спектральное распределение сшитое из спектральных распределений трех точечных источников.

Из рисунка 4 видно спектральное распределение соответствует спектральному распределению излучения трех типов светодиодов, используемых в прожекторе. Таким образом, можно сделать вывод о принципиальной работоспособности такой схемы.

3. Заключение

Показана принципиальная работоспособность спектрометра, основанного на гармонической линзе с дифракционной решеткой. Показана принципиальная работоспособность спектрометра, основанного на гармонической линзе с дифракционной решеткой. Из рисунка 3 видно, что при помощи дифракционного элемента получается четкое изображение в 0 порядке, а в 1 и 2 порядках изображения спектров.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования РФ в рамках выполнения государственного задания 3.3025.2017/4.6 и гранта Президента НШ-6307.2018.8.

5. Литература

- [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] Palmer, C. Diffraction grating handbook / C. Palmer, E. Loewen – USA: Newport Corporation, 2005. – 271 p.
- [3] Скиданов, Р.В. Исследование изображающего спектрометра на основе дифракционной линзы / Р.В. Скиданов, В.А. Бланк, А.А. Морозов // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 2. – С. 218-223.
- [4] Lyons, D. Image spectrometry with a diffractive optic / D. Lyons // Proc. SPIE. – 1995. – Vol. 2480. – P. 123-131.
- [5] Yang, C. A compact optical spectrometer based on a single-grating Fresnel diffractive optical element / C. Yang, P.S. Edwards, K. Shi, Z. Liu // Proc. SPIE. – 2012. Vol. 8374. – P. 83740Y-1-6.
- [6] Yang, C. Proposal and demonstration of a spectrometer using a diffractive optical element with dual dispersion and focusing functionality / C. Yang, P. Edwards, K. Shi, Z. Liu // Optics Letters. – 2011. – Vol. 36(11). – P. 2023-2025.

- [7] Харитонов, С.И. Геометрооптический расчет фокального пятна гармонической дифракционной линзы / С.И. Харитонов, С.Г. Волоотовский, С.Н. Хонина // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 3. – С. 331-337.
- [8] Хонина, С.Н. Анализ фокусировки гармонической дифракционной линзой с учётом дисперсии показателя преломления / С.Н. Хонина, С.Г. Волоотовский, А.В. Устинов, С.И. Харитонов // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 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.

Hyperspectrometer based on a harmonic lens with diffraction grating

V.A. Blank^{1,2}, R.V. Skidanov^{1,2}

¹Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

²Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. We fabricated a harmonic lens with a diffraction grating on a quartz substrate. We investigated a compact imaging spectrometer based on a harmonic lens with a diffraction grating and showed the working capacity of the device.

Keywords: hyperspectrometer, harmonic lens, diffraction grating.