

58. Исследование двухдиапазонных дифракционных решеток на сферических поверхностях в задаче формирования гиперспектральных изображений

В. В. Подлипнов, 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

В работе представлены результаты исследования возможности применения двухдиапазонной дифракционной отражающей решетки с блеском, нанесенной на выпуклое зеркало в изображающем гиперспектрометре на основе схемы Оффнера. Представлены результаты моделирования работы предложенной конфигурации дифракционной решетки. В результате моделирования были получены значения дифракционной эффективности для видимого оптического диапазона и ближнего инфракрасного диапазона.

Ключевые слова: Оптика, Голография, Дифракционные оптические элементы, Схема Оффнера, Гиперспектрометр.

Цитирование: Подлипнов, В. В. Исследование двухдиапазонных дифракционных решеток на сферических поверхностях в задаче формирования гиперспектральных изображений / В. В. Подлипнов, Р. В. Скиданов // HOLOEXPO 2018 : XV международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — С. 239–241.

Введение

Изображающие гиперспектрометры на основе схемы Оффнера и их конструкции имеют хорошие оптические характеристики, ввиду минимизации аберраций, а также высокий потенциал дальнейшей минимизации его конструкции [1–4]. Известны работы, в которых проводятся исследования по применению различных дисперсионных элементов, технологий их изготовления, повышение дифракционной эффективности [5]. Также исследователи для дальнейшего развития гиперспектральной аппаратуры и расширения сфер применения ставят целью увеличение спектрального диапазона принимаемой информации, что связано с переходом в область ближнего инфракрасного (ИК) излучения [6]. Это в свою очередь требует использования нескольких регистрирующих сенсоров, эффективно работающих каждый в своем спектральном диапазоне. Таким образом возникает необходимость разделения спектра. Для решения этой проблемы в статье [7] рассматривалась бинарная дифракционная решетка для работы в видимом и среднем ИК диапазоне одновременно. В указанной работе проводился подбор параметров малой дифракционной решетки и большой для работы в спектральных диапазонах видимого и среднего ИК излучения, которые оказывают незначительное влияние на работу прибора в каждом из этих диапазонов. Однако дифракционная эффективность решеток с простым бинарным профилем недостаточно высокая и, для качественной работы гиперспектрометра, эффективности бинарной решетки может быть недостаточно. Для повышения дифракционной эффективности могут быть использованы решетки с блеском [5]. В связи с этим в настоящей работе рассматривается двухдиапазонная дифракционная решетка, которая рассчитана на две центральные длины волны.

2. Моделирование работы дифракционной решетки

Предлагаемая дифракционная решетка для работы в оптической системе гиперспектрометра по схеме Оффнера должна иметь сложный профиль, в виде решетки большой высоты, на выступах и впадинах которой сформирован профиль малой высоты микрорельефа. Кроме того, для лучшего разграничения видимого и ближнего инфракрасного оптического диапазона, было решено для видимого диапазона повысить эффективность +1 порядка, для ближнего инфракрасного диапазона –1 порядок, сделав их рабочими для соответствующих светочувствительных матриц. Схематично такая решетка изображена на рис. 1. Такой профиль образуется, если наклонные участки профиля дифракционной решетки, оптимизированной для работы в ближнем ИК диапазоне, заполнить элементами треугольной формы с периодом и высотой, оптимизированной для видимого оптического диапазона, и имеющие при этом наклон в противоположную сторону.

Как видно, оптимизируя профиль для двухдиапазонной дифракционной решетки для видимого оптического диапазона с центральной длиной волны 0,5 мкм

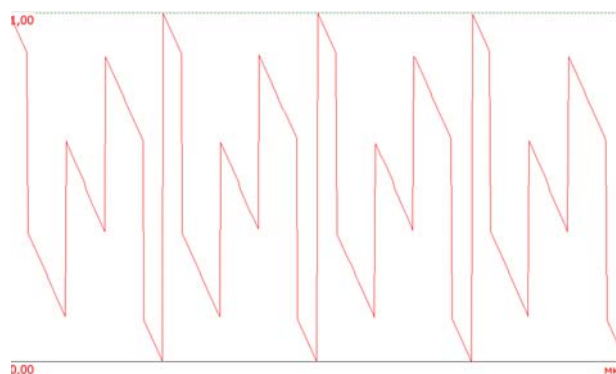


Рис. 1. Изображение сечения профиля двухдиапазонной дифракционной решетки

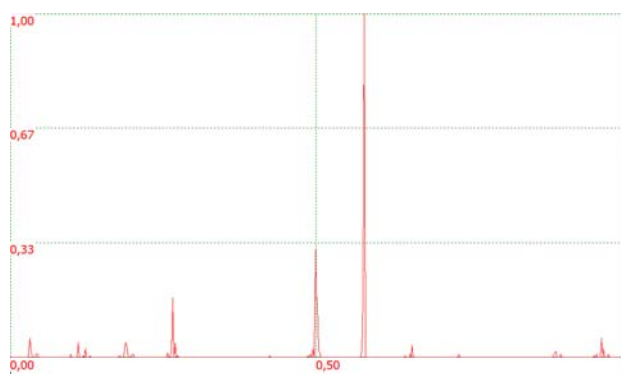


Рис. 2. Распределение мощности по порядкам в ближнем ИК диапазоне, на длине волны 1,5 мкм (в центре виден нулевой порядок)

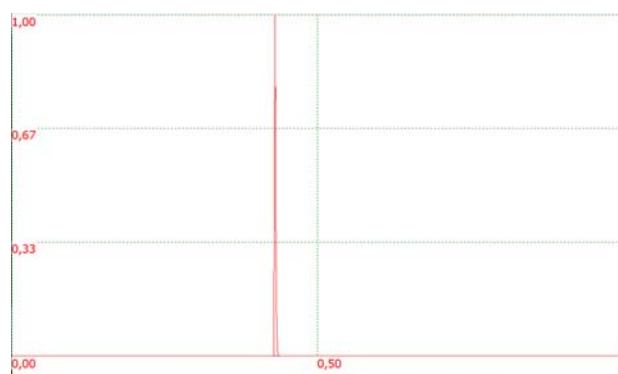


Рис. 3. Распределение мощности по порядкам в видимом диапазоне на длине волны 0,5 мкм

и ближнего ИК диапазона с центральной длиной волны 1,5 мкм, высоты и периоды так называемых «малых» и «больших» деталей профиля соотносятся так же, как и их длины волн. Наклон участков профиля соответственно зависит от соотношения периода решетки и ее высоты. Моделирование работы дифракционной решетки в этих диапазонах проводилось в программном пакете для моделирования оптических систем Zemax для двух длин волн ($\lambda_1 = 0,5$ мкм и $\lambda_2 = 1,5$ мкм). В результате моделирования были подобраны оптимальные параметры решетки для заданных параметров оптической системы. Исходя из технологических возможностей изготовления такой решетки сложного профиля на криволинейной поверхности, было выбрана высота деталей для «малой» и «большой» решетки соответственно 1 и 3 мкм, период соответственно 33 и 100 мкм.

Оптимизированная дифракционная решетка показала эффективность около 80 % в видимом и около

54 % в ИК диапазонах. На рис. 2 представлено распределение мощности по порядкам в ближнем инфракрасном диапазоне.

На рис. 3 представлено аналогичное распределение для видимого диапазона для длины волны 0,5 мкм.

Такая решетка позволяет за счет работы в разных порядках задействовать две светочувствительные матрицы в изображающем гиперспектрометре.

Заключение

В работе предложена конфигурация новой двухдиапазонной отражающей решетки с блеском для повышения дифракционной эффективности гиперспектрометра на основе схемы Оффнера для работы в видимом диапазоне в +1 порядке и в ближнем ИК в –1 порядке. В результате моделирования была показана ее высокая эффективность. Данная решетка может быть изготовлена на сферических поверхностях методом круговой лазерной записи с высоким качеством.

Список источников

- [1] Казанский, Н. Л. Моделирование работы гиперспектрометра, основанного на схеме Оффнера, в рамках геометрической оптики / Н. Л. Казанский, С. И. Харитонов, А. В. Карсаков, С. Н. Хонина // Компьютерная оптика. — 2014. — Том 38. — № 2.
- [2] Дёмин, А. В. Имитационная модель многоканального гиперспектрометра Оффнера / А. В. Дёмин, А. Д. Головин // Компьютерная оптика. — 2015. — Том 39. — № 4. — С. 521–527.
- [3] Карпеев, С. В. Юстировка и исследование макетного образца гиперспектрометра по схеме Оффнера / С. В. Карпеев, С. Н. Хонина, М. В. Петров // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. — 2016. — Том 15. — № 1.
- [4] 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.
- [5] Головин, А. Д. Малогабаритный гиперспектрометр видимого и ближнего инфракрасного диапазонов / А. Д. Головин, А. В. Демин // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. — 2015. — Том 58. — № 11. — С. 869–873.
- [6] Скинадов, Р. В. Двухдиапазонная дифракционная решетка для спектрометра на основе схемы Оффнера / Р. В. Скинадов, В. А. Бланк // Компьютерная оптика. — Том 40. — № 6. — С. 968–971. — DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-6-968-971.

Study of dual-range diffraction gratings on spherical surfaces for imaging hyperspectrometr

V. V. Podlipnov, R. V. Skidanov

¹ IPSI RAS — branch of the FSRC “Crystallography and Photonics” RAS, Samara, Russia

² Samara National Research University, Samara, Russia

The paper presents the results of a study of the feasibility of applying a dual-range diffraction reflecting grating with glitter applied to a convex mirror in a depicting hyperspectrometer based on the Offner scheme. The results of modeling the work of the proposed configuration of the diffraction grating are presented. As a result of the simulation, the diffraction efficiency values for the visible optical range and the near infrared range were obtained.

Keywords: Optics, Holography, Diffraction optical elements, Offner scheme, hyperspectrometr.