

# Компактный изображающий гиперспектрометр

**В.В. Подлипов<sup>1,2</sup>, Н.А. Ивлиев<sup>1,2</sup>, Р.В. Скиданов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

<sup>2</sup>Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

**Аннотация.** В работе представлено описание конструкции компактного изображающего гиперспектрометра, оснащенного пропускающей фазовой дифракционной решеткой, которая используется в качестве диспергирующего элемента. Приведен расчет параметров микрорельефа диспергирующего элемента. Исследованы характеристики макетного образца компактного гиперспектрометра.

## 1. Введение

Методы гиперспектрального анализа широко используются при решении различных прикладных задач связанных с рациональным использованием природных ресурсов [1, 2], лесным и сельским хозяйством [3, 4], геологией [5]. Среди указанных областей применений можно выделить класс задач мониторинга растительности, которые требуют оперативной реакции, например, оценка пожарной опасности состояния лесов [6]. Поэтому гиперспектральные изображения часто получают не со спутников дистанционного зондирования Земли, а с малых летательных аппаратов. Возникает потребность в минимизации гиперспектральной аппаратуры. Спектральный диапазон подобной аппаратуры лежит в диапазоне 400-1000 нм.

Существуют компактные конструкции, основанные на дифракционной линзе [7-9] и линзе-решетке [10, 11]. Получение информации в таких конструкциях связано с высокой сложностью алгоритмов обработки и часто невозможно получить достаточное спектральное разрешение.

В работах [12] представлена конструкция гиперспектральной камеры авиационного применения в которых в качестве диспергирующего элемента используют отражающие дифракционные оптические элементы (ДОЭ), данное устройство характеризуется высоким спектральным разрешением, однако данная конструкция предъявляет повышенные требования к точности формирования дифракционного микрорельефа, что увеличивает стоимость устройств.

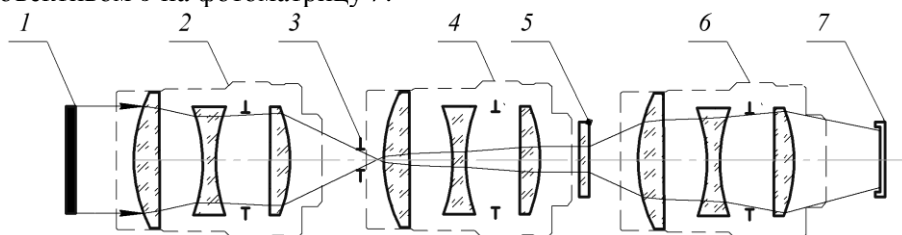
В настоящей работе представлена конструкция компактного изображающего спектрометра, использующего в качестве диспергирующего элемента пропускающую фазовую дифракционную решетку.

## 2. Описание конструкции гиперспектрометра

Принцип работы компактного изображающего гиперспектрометра заключается в регистрации в каждый момент времени спектральной картины узкой полосы изображения исследуемого объекта. Формирование гиперкуба полного изображения объекта осуществляется

сканированием окружающего пространства путем кругового вращения или линейного перемещения гиперспектральной камеры вдоль исследуемого объекта.

Оптическая схема разработанного устройства представлена на рисунке 1. Сформированное объективом 2 изображение объекта 1 строится в фокальной плоскости, где согласно оптической схемы расположена щелевая диафрагма 3, вырезающая из полного изображения узкий участок. После коллимирующего объектива 4 вырезанное изображение попадает на дифракционный оптический элемент 5, где происходит формирование спектральной картины, которая проецируется объективом 6 на фотоматрицу 7.



**Рисунок 1.** Оптическая схема гиперспектрального устройства: 1 – объект наблюдения; 2, 4, 6 – объективы; 3 – щелевая диафрагма; 5 – ДОЭ; 7 – фотоматрица.

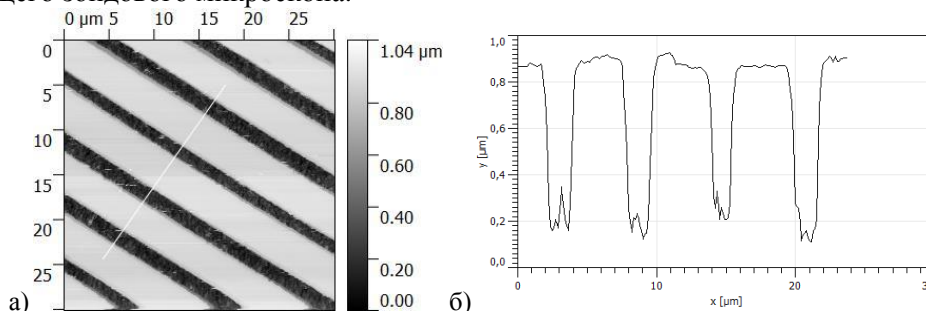
ДОЭ представляет собой кварцевую пластину с нанесенным бинарным микрорельефом с периодом 6 мкм. Высота микрорельефа бинарной решетки  $h$  определяется длиной волны  $\lambda$  и рассчитывается по формуле:

$$h = \frac{\lambda}{2 \cdot (n - 1)}, \quad (1)$$

где  $n$  – показатель преломления.

Для получения оптимального значения сигнал/шум на всем спектральном диапазоне работы компактного изображающего спектрометра с учетом характеристик спектральной чувствительности матрицы и особенностей солнечного излучения для расчета ДОЭ была выбрана длина волны равная 700 нм [13]. Использование формулы (1) с показателем преломления кварца 1,47 дает значение высоты  $h=750$  нм.

Дифракционная решетка была изготовлена методом плазмохимического травления. Защитная маска формировалась по технологии прямой лазерной записи на хrome. На рисунке 2 представлены результаты измерений параметров рельефа, полученных с помощью сканирующего зондового микроскопа.



**Рисунок 2.** СЗМ изображение поверхностного микрорельефа дифракционной решетки гиперспектрометра а) и ее профиль б).

Отличие измеренной высоты микрорельефа от расчетного значения равно 5 нм, что эквивалентно значению относительной ошибки формирования микрорельефа менее 1 %.

### 3. Заключение

Разработана конструкция компактного изображающего гиперспектрометра, спектральный диапазон которого при использовании матрицы Sony IMX 249 равен 400-1000 нм.

Спектральное разрешение составило 5 нм. Габариты макетного образца равны 250х40 мм. Вес 400 г. Внешний вид компактного гиперспектрометра представлен на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Внешний вид компактного гиперспектрометра.

#### 4. Литература

- [1] Ghiyamat, A. A review on hyperspectral remote sensing for homogeneous and heterogeneous forest biodiversity assessment / A. Ghiyamat, H. Shafri // *Int. J. Remote Sens.* – 2010. – Vol. 31(7). – P 1837-1856.
- [2] Schmid, T. Multisensor approach to determine changes of wetland characteristics in semiarid environments (central Spain) / T. Schmid, M. Koch, J. Gumuzzio // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* – 2005. – Vol. 43(11). – P. 2516-2525.
- [3] Подлипов, В.В. Экспериментальное определение влажности почвы по гиперспектральным изображениям / В.В. Подлипов, В.Н. Щедрин, А.Н. Бабичев, С.М. Васильев, В.А. Бланк // *Компьютерная оптика.* – 2018. – Т. 42, № 5. – С. 877-884. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-42-5-877-884.
- [4] Genc, H. Vegetation indices as indicators of damage by the sunnpest (Hemiptera: Scutelleridae) to field grown wheat / H. Genc, L. Genc, H. Turhan // *African Journal of Biotechnology.* – 2008. – Vol. 7(2). – P. 173-180.
- [5] Cloutis, E.A. Hyperspectral geological remote sensing: Evaluation of analytical techniques // *Int. J. Remote Sens.* – 1996. – Vol. 17(12). – P. 2215-2242.
- [6] Genc, H. Vegetation indices as indicators of damage by the sunnpest (Hemiptera: Scutelleridae) to field grown wheat / H. Genc, L. Genc, H. Turhan // *African Journal of Biotechnology.* – 2008. – Vol. 7(2). – P. 173-180.
- [7] Blank, V.A. Diffraction lens in imaging spectrometer / V.A. Blank, R.V. Skidanov // *Proceedings of Information Technology and Nanotechnology (ITNT2015), CEUR Workshop Proceedings.* – 2015. – Vol. 1490. – P. 17-26.
- [8] 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 // *Optical Letters.* – 2011. – Vol. 36. – P. 2023-2025.
- [9] 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. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-2-218-223.
- [10] Chuan, Yang. Demonstration of a PDMS based hybrid grating and Fresnel lens (G-Fresnel) device / Chuan Yang // *Optics Express.* – 2010. – Vol. 18(23). – P. 23529-23534.
- [11] Бланк, В.А. Дифракционные оптические элементы с двойной функциональностью в изображающих гиперспектрометрах / В.А. Бланк, Р.В. Скиданов // *Голография. Наука и практика тезисы докладов XIII международной конференции.* – Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2016. – С. 191-193.
- [12] Калинин, А.П. Авиационный гиперспектрометр / А.П. Калинин, А.Г. Орлов, И.Д. Родионов // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение».* – 2006. – №3. – С. 11-24.
- [13] Подлипов, В.В. Калибровка изображающего гиперспектрометра / В.В. Подлипов, Р.В. Скиданов // *Компьютерная оптика.* – 2017. – Т. 41, № 6. – С. 869-874. DOI:10.18287/2412-6179-2017-41-6-869-874.

**Благодарности**

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (гранты №16-29-11744 офи\_м, №18-29-20045 мк) в части формирования дифракционных оптических элементов и Министерства образования РФ в рамках выполнения государственного задания 3.3025.2017/4.6 в части разработки конструкции гиперспектрометра.

## A compact imaging hyperspectrometer

V. V. Podlipnov<sup>1,2</sup>, N. A. Ivliev<sup>1,2</sup>, R. V. Skidanov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

<sup>2</sup>Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

**Abstract.** The paper describes the design of a compact hyperspectrometer equipped with a transmission phase diffraction grating, which is used as a dispersing element. The calculation of the microrelief parameters of the dispersing element is given. Investigated the characteristics of the prototype of compact hyperspectrometer.