

Дисперсионный элемент, основанный на модифицированных линзе и решетки

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. Рассмотрена возможность использования тороидальной линзы и дифракционного аксикона, в качестве дисперсионного элемента в изображающем спектрометре.

1. Введение

Распространение технологий изображающей спектроскопии в последние годы, потребовало максимальной миниатюризации и упрощения конструкций изображающих гиперспектрометров [1-5]. Однако упрощение конструкции и миниатюризация приводит к существенному редуцированию оптических характеристик таких приборов. В спектрометрах, описанных в работах [2,4,6] используется дисперсионный элемент, объединяющий свойства дифракционной линзы и дифракционной решетки. Такой элемент позволяет получить наиболее компактную конструкцию гиперспектрометра. Однако наличие в такой системе неосесимметричного элемента – дифракционной решетки приводит к довольно существенным внесевым aberrациям. В работах [7, 8] предложено использовать в качестве дисперсионного элемента аксикон. В [8] показано, что функция рассеяния точки в таком гиперспектрометре постоянна по всему растру сканирования, и несколько меньше чем функция рассеяния точки в аналогичном гиперспектрометре с дифракционной решеткой. В настоящей работе предлагается элемент, объединяющий преимущества двух вышеописанных подходов. Предлагается использовать гармоническую тороидальную линзу с дифракционным аксиконом.

Тороидальные линзы применяются в разработке телескопов [9, 10], для создания солнечных концентраторов [11] и 3D систем [12], а также для шифрования информации [13].

В настоящей работе будут представлены результаты моделирования системы, в которой изображение строится тороидальной линзой. Показана принципиальная возможность использования тороидальной линзы в конструкции компактного гиперспектрометра.

2. Изображающий спектрометр на основе аксикона

Было проведено моделирование работы тороидальной линзы как с аксиконом, так и без аксикона.

На рисунке 1 приведены фазовые функции тороидальной линзы с фокусным расстоянием: 0,58 м, 0,24 м, 0,145 м. Такие линзы в фокальной плоскости формируют изображение в виде светового кольца. Изображения в фокальной плоскости линз, представлены на рисунке 2.

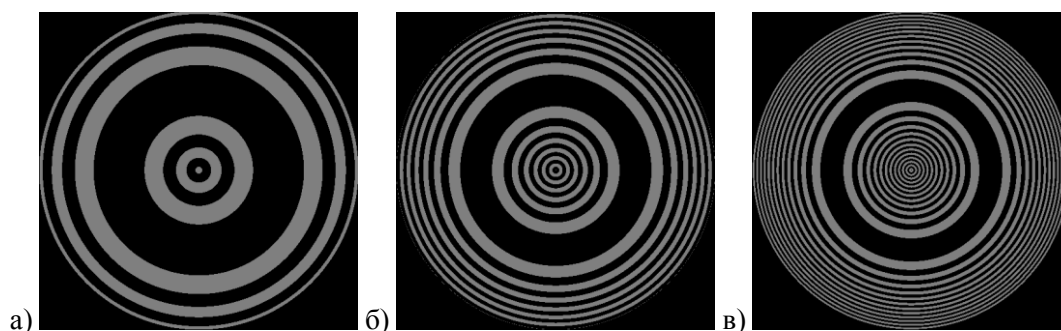


Рисунок 1. Фазовая функция тороидальной линзы с фокусным расстоянием: а) 0,58 м; б) 0,24 м; в) 0,145 м.

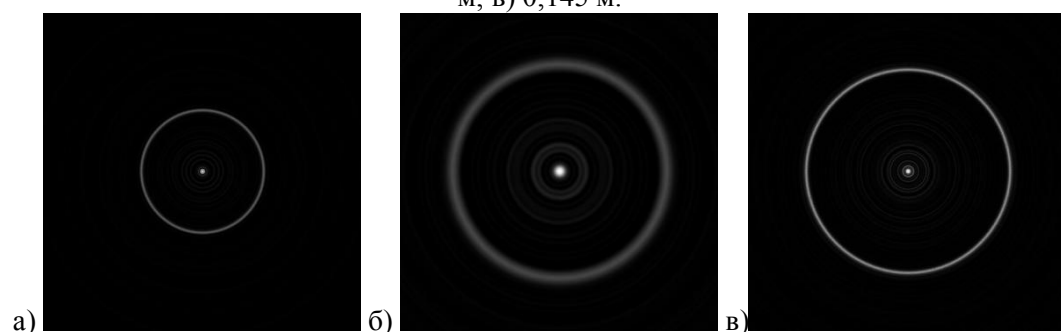


Рисунок 2. Изображения в фокальной плоскости линз с фокусным расстоянием: а) 0,58 м; б) 0,24 м; в) 0,145 м.

Как видно из рисунков 2 кроме фокального кольца присутствует еще центральное пятно, которое очевидно можно убрать за счет использования многоуровневой тороидальной линзы.

В случае добавления аксикона в изображающую систему, на выходе получается кольцо с увеличенным радиусом (рисунок 3б) для тороидальной линзы с фокусным расстоянием 0,24 м. Это смещение показывает, что аксикон выполняет в данной системе свою функцию дисперсионного элемента. Это хорошо видно на следующем изображении, где взят аксикон с другим периодом (рисунок 3г).

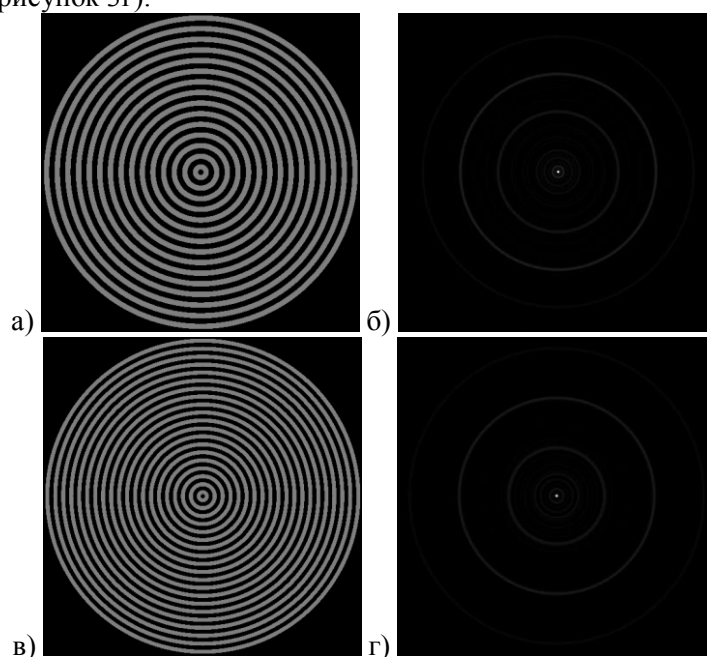


Рисунок 3. Изображения на выходе изображающей системы (б) и (г) с аксиконом с периодом 350 мкм (а) и 250 мкм (в).

Основное преимущество использования аксикона с тороидальной линзой в том, что в отличие от [2,4,14] должны присутствовать только осевые аберрации.

3. Заключение

Представлена концептуальная схема нового изображающего гиперспектрометра на основе тороидальной линзы и дифракционного аксикона. Представленная конструкция позволяет объединить основные преимущества двухфункциональных дисперсионных элементов [2,4,14] и гиперспектрометров на основе дифракционного аксикона [12,13].

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования РФ в рамках выполнения государственного задания 3.3025.2017/4.6, гранта Президента НШ-6307.2018.8 и РФФИ в рамках научного проекта № 18-07-01470 (моделирование).

5. Литература

- [1] Park, Y. Miniaturization of a Fresnel spectrometer // *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*. – 2008. – Vol. 10. – P. 095301.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Palmer, C. *Diffraction grating handbook* / C. Palmer, E. Loewen – USA: Newport Corporation, 2005. – 271 p.
- [6] Min, K.-P. A G-Fresnel Optical Device and Image Processing Based Miniature Spectrometer for Mechanoluminescence Sensor Applications / K.-P. Min, J. Kim, K.D. Song, G.-W. Kim // *Sensor*. – 2019. – Vol. 19(3528). – P. 1-12.
- [7] Скиданов, Р.В. Изображающий гиперспектрометр на основе системы, выполняющей кольцевое преобразование Радона / Р.В. Скиданов, В.А. Бланк // *Известия ШИЦ*. – 2015. – Т. 17, № 4. – С. 21-25.
- [8] Skidanov, R.V. Diffraction axicon as the dispersive element for imaging hyperspectrometer / R.V. Skidanov, V.A. Blank // *Proc. SPIE*. – 2016. – Vol. 9807. – P. 98070G-1-8.
- [9] Kintziger, C. Conception of a near-IR spectrometer for ground-based observations of massive stars / C. Kintziger, R. Desselte, J. Loicq, G. Rauw, P. Rochus // *Proc. SPIE*. – 2016. – Vol. 99085R. – P. 99085R-1-19.
- [10] Bernet, S. Zoomable telescope by rotation of toroidal lenses // *Applied Optics*. – 2018. – Vol. 57(27). – P. 8087-8095.
- [11] Lin, J.-S. Solar concentrator with a toroidal relay module / J.-S. Lin, C.-W. Liang // *Applied Optics*. – 2015. – Vol. 54(28). – P. 153-158.
- [12] Chou, P.-Y. A toroidal-lens designed structure for static type table-top floating image system with horizontal parallax function / P.-Y. Chou, J.-Y. Wu, P.-Y. Hsieh, C.-H. Chen, Z.-S. Yu, C.-H. Tai, Y.-P. Huang // *Journal of SID*. – 2017. – Vol. 25(7). – P. 421-433.
- [13] Singh, H. Optical Image Encryption Using Devil's Vortex Toroidal Lens in the Fresnel Transform Domain / H. Singh, A. K. Yadav, S. Vashisth, K. Singh // *International journal of optics*. – 2015. – Vol. 2015. – P. 1-13.
- [14] Blank, V.A. Hyperspectrometer based on a harmonic lens with diffraction grating / V.A. Blank, R.V. Skidanov // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2018. – Vol. 1096. – P. 1-7.

Dispersion element based on modified lens and 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 considered the possibility of using a toroidal lens and a diffraction axicon as a dispersion element in an imaging spectrometer.