

## 25. Тороидальные линзы как дисперсионные элементы

*В. А. Бланк, Р. В. Скиданов*

Институт систем обработки изображений — филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, Самара, Россия

Самарский национальный исследовательский университет им. академика

С. П. Королева, Самара, Россия

Рассчитан и изготовлен элемент с микрорельефом тороидальной линзы и дифракционного аксикона методом прямой лазерной записи по фоторезисту. Фокусное расстояние тороидальной линзы 30 мм, период аксикона 10 мкм. Высота рельефа тороидальной линзы 6 мкм. Проведены натурные эксперименты по формированию спектральных распределений в неизображающем и изображающем режимах.

*Ключевые слова:* Тороидальная линза, Гиперспектрометр, Аксикон, Дифракционные оптические элементы, Дисперсионный элемент.

*Цитирование:* Бланк, В. А. Тороидальные линзы как дисперсионные элементы / В. А. Бланк, Р. В. Скиданов // HOLOEXPO 2020 : XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — С. 156–160.

### Введение

В последнее время наметилась тенденция к разработке относительно простых по конструкции гиперспектрометров для использования на беспилотных летательных аппаратах, на вращающихся платформах, оптические схемы таких спектрометров представляют собой телескопическую систему с дисперсионным элементом в фокальной плоскости [1–3].

В работах [4, 5] была рассмотрена возможность использования в качестве дисперсионного элемента — дифракционный аксикон. Было показано, что ФРТ не зависит от полярного угла, но при этом довольно широка из-за сильных внеосевых аберраций. В работе [6] был рассмотрен и изготовлен элемент, у которого в одном микрорельефе сочетаются гармоническая линза и дифракционная решетка. На основе этого элемента был изготовлен гиперспектрометр. На основе проведенных экспериментов и рассмотренных схем изображающих гиперспектрометров появилась новая идея. Во-первых использовать аксикон как дисперсионный элемент, а во-вторых использовать тороидальную линзу как элемент, фокусирующий во внеосевые области. Для экспериментальной проверки был изготовлен элемент, у которого в одном рельефе записана тороидальная линза и дифракционный аксикон.

### 1. Тороидальная линза с дифракционным аксиконом

На рисунке 1 представлен изготовленный элемент методом прямой лазерной записи в фоторезисте толщиной 6 мкм. Фокусное расстояние линзы 30 мм, а период аксикона 10 мкм.

На рисунке 2 продемонстрировано сечение рельефа этого элемента от центра к краю подложки, полученное при измерении на профилометре. В масштабе рисунка структура аксикона почти не видна.

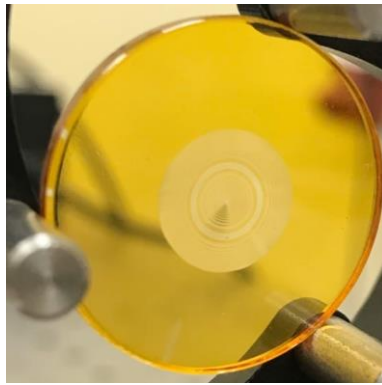


Рис. 1. Внешний вид тороидальной линзы с дифракционным аксиконом

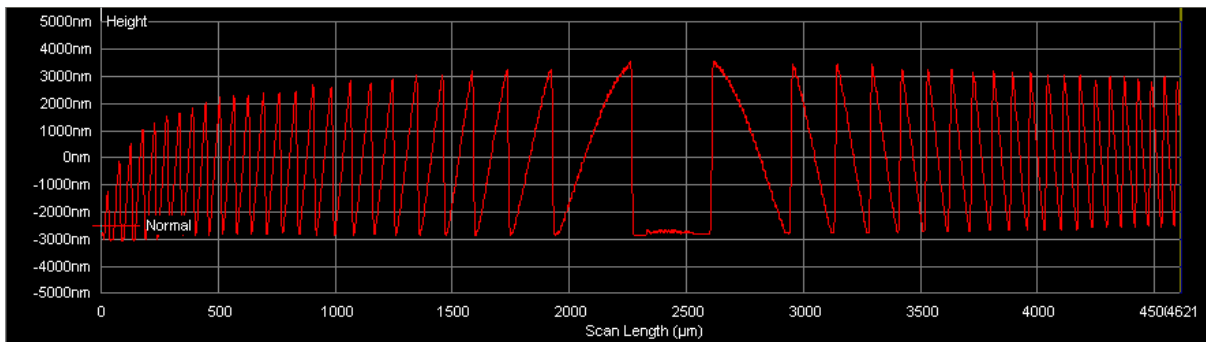
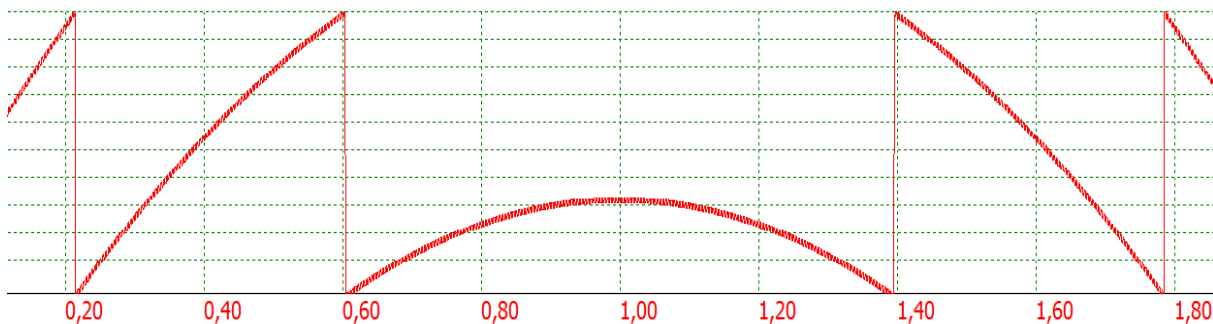
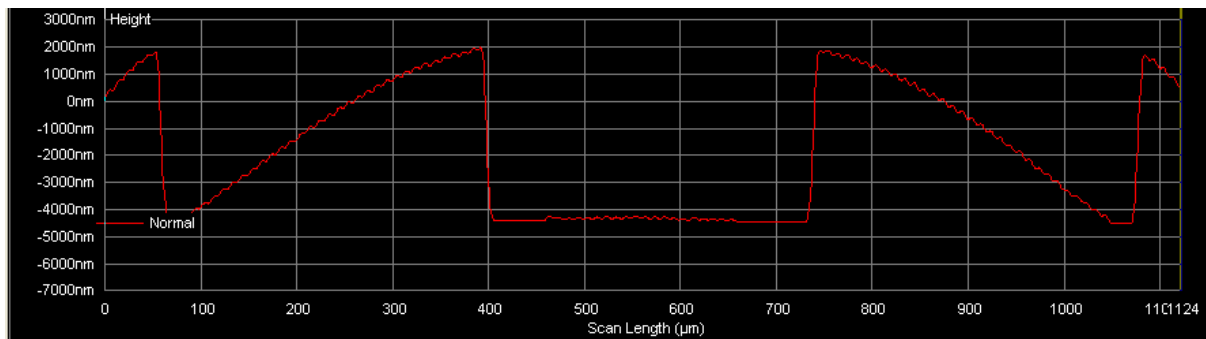


Рис. 2. Сечение рельефа тороидальной линзы с дифракционным аксиконом  
от центра к краю



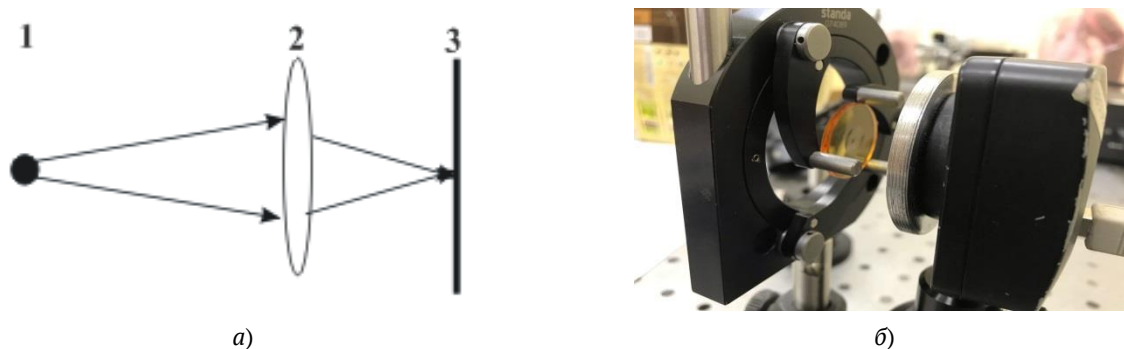
а) Рассчитанный



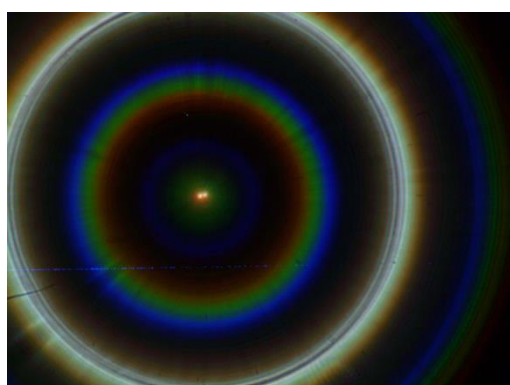
б) Измеренный на профилометре

Рис. 3. Участок рельефа тороидальной линзы и дифракционного аксикона

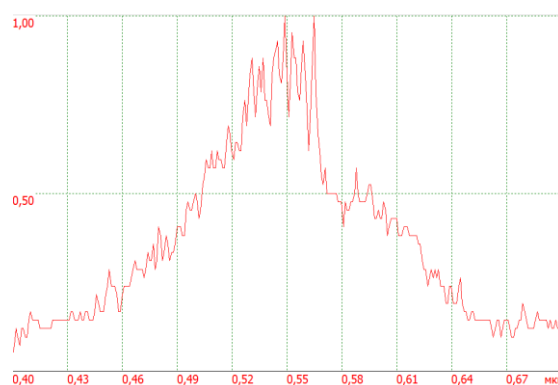
А на рисунке 3 представлен участок рассчитанного микрорельефа и этот же участок, полученный при измерении на профилометре.



1 — источник света, 2 — тороидальная линза с дифракционным аксиконом, 3 — ПЗС-матрица  
**Рис. 4.** Оптическая схема на основе тороидальной линзы и дифракционного аксикона (а) и  
фотография оптической схемы на лабораторном столе (б)



а) Изображение, полученное при помощи тороидальной линзы и дифракционного аксикона



б) Спектральное распределение (сечение по радиусу цветного кольца)

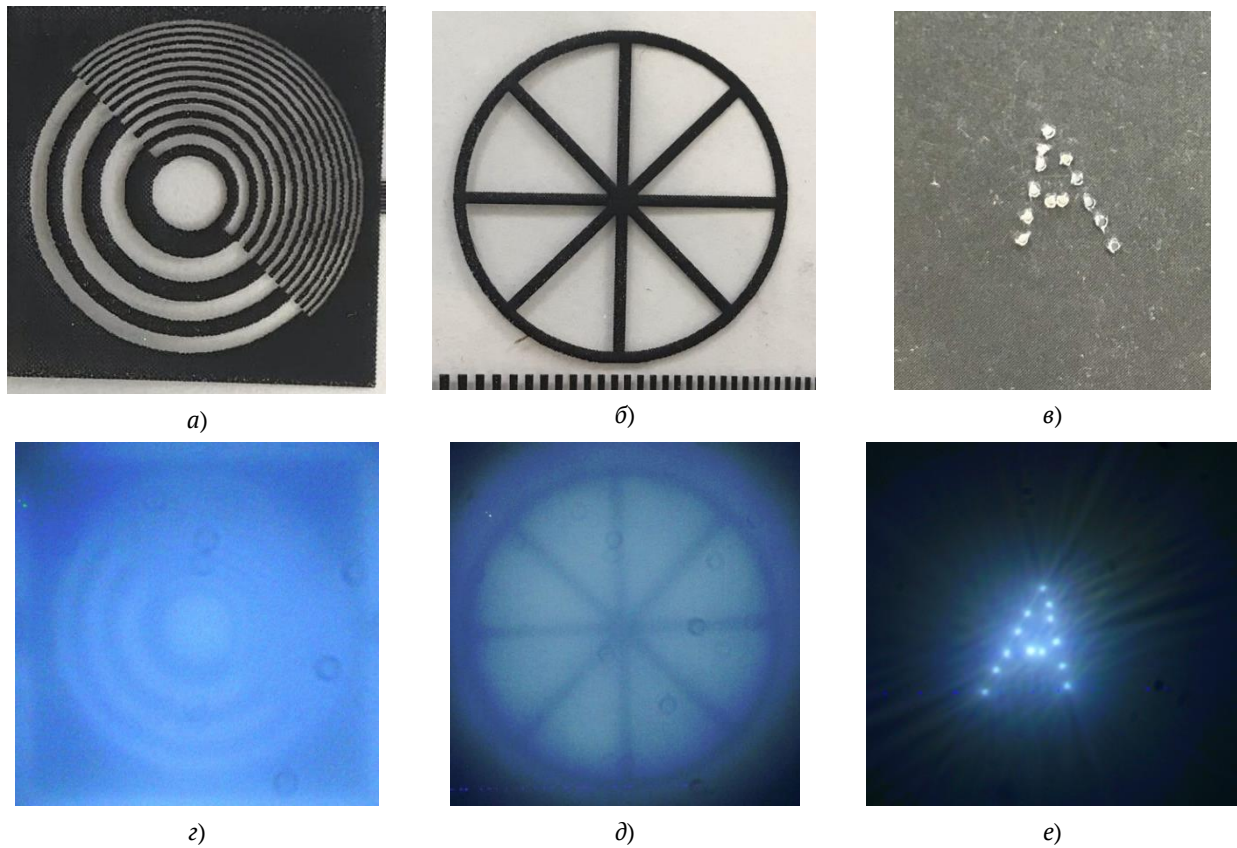
**Рис. 5.** Результат эксперимента

На основе этого элемента была собрана экспериментальная установка, которая представлена на рисунке 4. Первые эксперименты проводились только с тороидальной линзой и дифракционным аксиконом, который продемонстрировал спектральные свойства элемента.

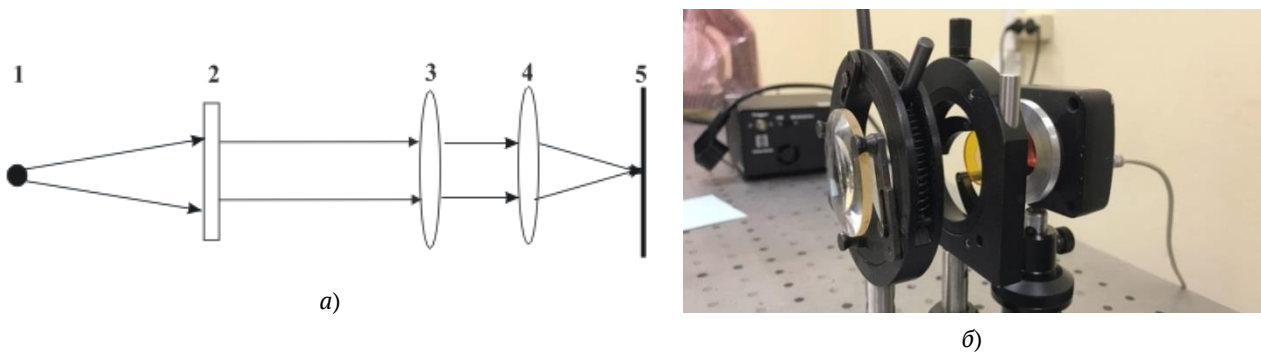
Для демонстрации работы элемента был использован точечный источник, полученный путем использования точечной диафрагмы и белого светодиода. Тороидальная линза с аксиконом сформировала световое кольцо и спектральное распределение (рисунок 5).

Совокупность аксикона и тороидальной линзы при определенных условиях позволяют на оптической оси строить изображение. На рисунках 6а и 6б представлены исходные изображения светотехнической таблицы и на рисунке 6в исходное изображение структурированного источника света. А на рисунках 6г, 6д и 6е изображения, полученные тороидальной линзой и дифракционным аксиконом.

Для работы в изображающем режиме в оптическую схему была добавлена рефракционная линза (рисунок 7), в результате чего было получено спектральное распределение от системы светящихся точек (рисунок 8). На рисунке 8 хорошо виден спектр в первом и втором порядках. И оценивая ширину спектра, можно говорить о допустимом спектральном разрешении в 20 нм.

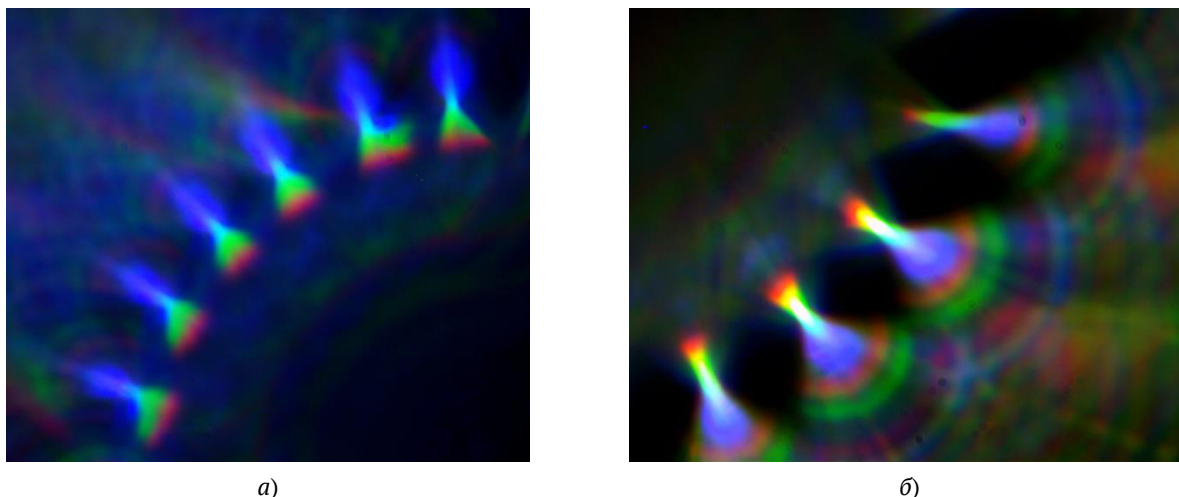


**Рис. 6.** Исходные изображения светотехнической таблицы (а, б), изображение структурированного источника света (в) и изображения, толченные тороидальной линзой и аксиконом (г, д, е)



1 — источник света, 2 — полукольцевая диафрагма, 3 — рефракционная линза, 4 — тороидальная линза с дифракционным аксиконом, 5 — ПЗС-матрица

**Рис. 7.** Оптическая схема на основе рефракционной линзы и тороидальной линзы с дифракционным аксиконом (а), фото оптической схемы на лабораторном столе (б)



**Рис. 8.** Спектральное распределение от системы светящихся точек

### Заключение

Рассчитан и изготовлен элемент, сочетающий в себе свойства тороидальной линзы и дифракционного аксикона. Экспериментально показано, что в результате совместного использования тороидальной линзы с аксиконом и рефракционной линзы можно получить спектральное распределение в изображающем режиме.

### Список источников

- [1] **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.
- [2] **Zhang, H.** Development of a Portable Field Imaging Spectrometer: Application for the Identification of Sun-Dried and Sulfur-Fumigated Chinese Herbals / H. Zhang, T. Wu, L. Zhang, P. Zhang // *Applied Spectroscopy*. — 2017. — Vol. 70. — № 5. — P. 879–887.
- [3] **Wu, T.** Shortwave Infrared Imaging Spectroscopy for Analysis of Ancient Paintings / T. Wu, G. Li, Z. Yang, H. Zhang, Y. Lei, N. Wang, L. Zhang // *Applied Spectroscopy*. — 2016. — Vol 71. — № 5. — P. 977–987.
- [4] **Скиданов, Р. В.** Изображающий гиперспектрометр на основе системы, выполняющей кольцевое преобразование Радона / Р. В. Скиданов, В. А. Бланк // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. — 2015. — Том 17. — № 2. — С. 21–25.
- [5] **Skidanov, R. V.** Diffraction axicon as the dispersive element for imaging hyperspectrometer / R. V. Skidanov, V. A. Blank // *Proc. of SPIE*. — 2016. — Vol. 9807. — P. 98070G.
- [6] **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.