

КОРОТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ДВУХДИАПАЗОННАЯ ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА НА ОСНОВЕ СХЕМЫ ОФФНЕРА

Р.В. Скиданов^{1,2}, В.А. Бланк^{1,2}

¹ Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Самара, Россия,

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

Аннотация

Рассмотрена возможность использования двухдиапазонной дифракционной решетки на выпуклом зеркале в изображающем гиперспектрометре в схеме Оффнера. Проведено моделирование в системе Zemax. Показано, что использование двухдиапазонной дифракционной решетки позволяет использовать гиперспектрометр на основе схемы Оффнера в двух диапазонах: видимом и среднем ИК.

Ключевые слова: изображающий спектрометр, двухдиапазонная дифракционная решетка.

Цитирование: Скиданов, Р.В. Двухдиапазонная дифракционная решетка для спектрометра на основе схемы Оффнера / Р.В. Скиданов, В.А. Бланк // Компьютерная оптика. – Т. 40, № 6. – С.968-971. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-6-968-971.

Введение

Схема Оффнера как оптическая схема с нулевыми aberrациями третьего и пятого порядка имеет уже достаточно долгую историю использования [1, 2]. Изображающие спектрометры в конфигурации Оффнера [3–5] позволяют получать гиперспектральное изображение с минимально возможным уровнем геометрических aberrаций. Конфигурация спектрометра этого типа имеет значительный потенциал к дальнейшей его минимизации. Поэтому к гиперспектрометру на основе схемы Оффнера не ослабевает интерес исследователей, и постоянно появляются новые публикации [6–8]. Однако схема Оффнера хорошо работает в относительно узком спектральном диапазоне, а в настоящее время существует потребность в двухдиапазонном спектрометре, который одинаково хорошо позволял бы получать гиперспектральные изображения как в видимом, так и в среднем ИК-диапазоне. В настоящей работе рассматривается моделирование в системе Zemax гиперспектрометра на основе схемы Оффнера с двухдиапазонной решеткой, параметры которой подобраны так, что она одинаково хорошо работает как с видимым диапазоном (расчет для $\lambda = 0,55$ мкм), так и для среднего ИК-диапазона (расчет для $\lambda = 10,6$ мкм).

1. Дифракционная решетка

Предлагается использовать дифракционную решетку следующего вида (рис. 1).

Как видно из рис. 1, дифракционная решетка представляет собой сочетание двух дифракционных решеток с большой (11 мкм) и малой (0,55 мкм) высотами микрорельефа. При этом высота микрорельефа большой дифракционной решетки подбирается так, чтобы на длине волны 0,55 мкм разность фазового набега составляла целое число длин волн. В этом случае большая дифракционная решетка практически не влияет на работу малой дифракционной решетки в видимом диапазоне. Малая же дифракционная решетка прак-

тически не влияет на работу большой дифракционной решетки в среднем ИК-диапазоне, т.к. разность набега фазы будет много меньше длины волны.

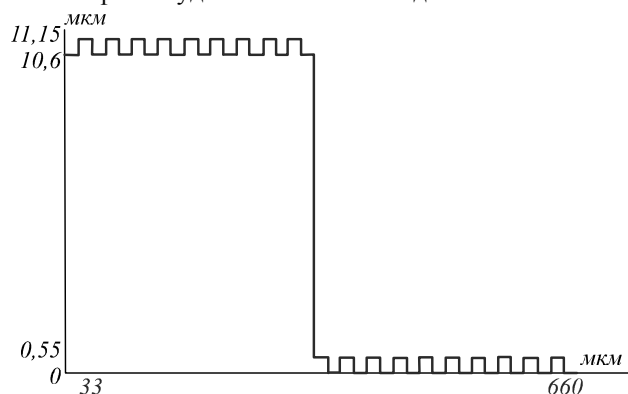


Рис. 1. Сечение одного периода двухдиапазонной решетки

2. Моделирование

Рассмотрим построение изображения с гиперспектрометром, с обычной дифракционной решеткой [9] для разных длин волн (рис. 2).

На рис. 2а, представлено изображение хода лучей вблизи анализируемой плоскости для длин волн $\lambda_1 = 0,45$ мкм, $\lambda_2 = 0,55$ мкм, $\lambda_3 = 0,65$ мкм. Как видно из рис. 2а фокусировка для всех трех длин волн осуществляется точно на анализирующую плоскость. Однако если добавить длину волны $\lambda_4 = 10,6$ мкм, то, как видно из рис. 2б, эта длина волны уже не фокусируется на анализирующую плоскость, т.к. угол ее распространения превышает рабочее угловое поле схемы Оффнера.

Исправить это можно, используя ранее описанную двухдиапазонную дифракционную решетку. Поскольку Zemax не позволяет моделировать такие структуры, будем попеременно использовать при моделировании дифракционную решетку нужной частоты. Частоту решетки для инфракрасного диапазона будем определять исходя из условия попадания угла распространения первого порядка для длины волны 10,6 мкм в рабочий угловой диапазон для схемы Оф-

фнера (менее 5°). Можно даже добиться полного совпадения углов первого порядка для длин волн 0,55 мкм и 10,6 мкм. Так, если исходная решётка для 0,55 мкм имела частоту 30 мм^{-1} , тогда для длины волны 10,6 мкм можно использовать дифракционную решётку с частотой $1,5 \text{ мм}^{-1}$.

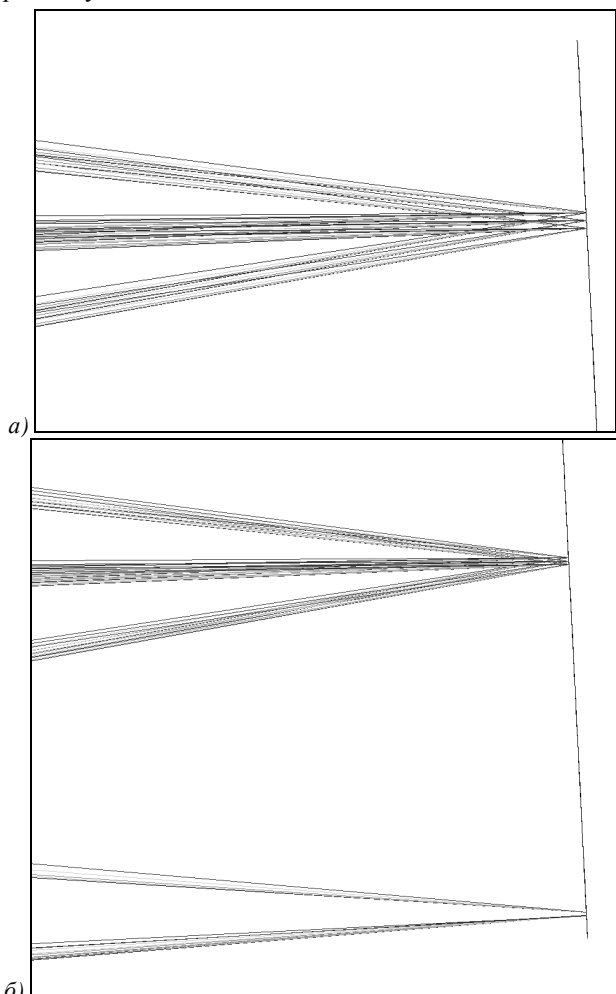


Рис. 2. Фокусировка разных длин волн на анализирующую плоскость

На рис. 3 приведены функции рассеяния точки для $\lambda_2 = 0,55 \text{ мкм}$ и $\lambda_4 = 10,6 \text{ мкм}$.

Как видно из рис. 3, функция рассеяния точки для $\lambda_4 = 10,6 \text{ мкм}$ по форме практически совпадает с функцией рассеяния точки для $\lambda_2 = 0,55 \text{ мкм}$, превосходя ее в масштабе примерно в 20 раз (соотношение длин волн).

При этом диаметр диска Эйри для $\lambda_2 = 0,55 \text{ мкм}$ составляет 4,8 мкм, для $\lambda_4 = 10,6 \text{ мкм}$ – 93 мкм (по результатам расчета в Zemax).

На рис. 4 показано изображение хода лучей при использовании решетки с частотой $1,5 \text{ мм}^{-1}$ вблизи анализируемой плоскости для длины волны $\lambda_4 = 10,6 \text{ мкм}$.

Для разведения на отдельные светочувствительные матрицы света видимого диапазона и среднего ИК можно использовать следующий способ: установить разные щелевые диафрагмы [8], которые ввиду кардинального различия длин волн должны в любом

случае быть разной ширины, и тогда их можно пространственно разнести так, чтобы на выходе спектрометра инфракрасный свет фокусировался достаточно далеко от места фокусировки света видимого диапазона, но вместе с тем находился в рабочем угловом диапазоне спектрометра.

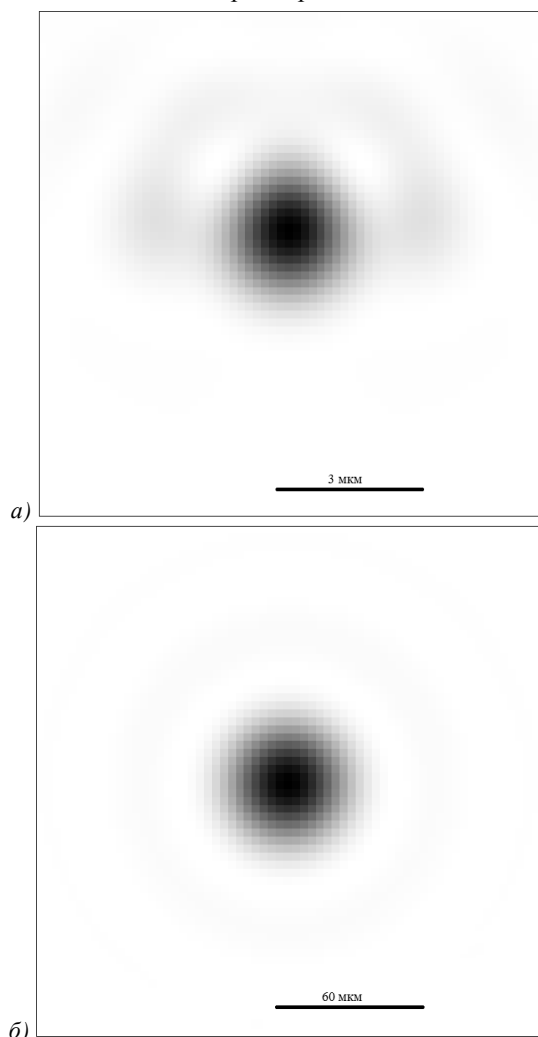


Рис. 3. Функция рассеяния точки для $\lambda_2 = 0,55 \text{ мкм}$ (а), для $\lambda_4 = 10,6 \text{ мкм}$

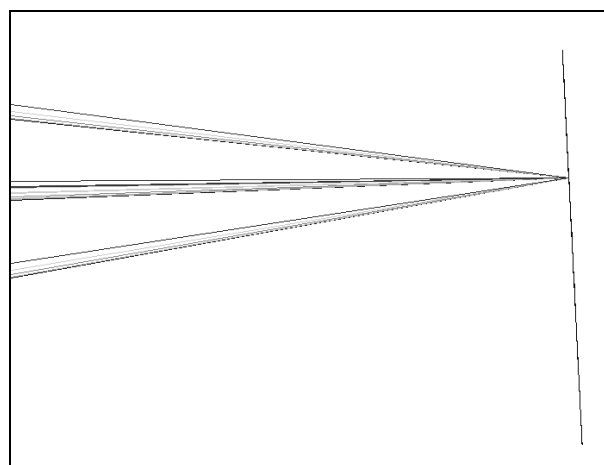


Рис. 4. Ход лучей для $\lambda_4 = 10,6 \text{ мкм}$ вблизи анализирующей плоскости

Заключение

Предложено использовать для создания двухдиапазонного изображающего гиперспектрометра на основе схемы Оффнера двухдиапазонную дифракционную решетку. Моделирование в системе Zemax показало принципиальную работоспособность предложенной конфигурации. Функции рассеяния точки для длин волн 0,55 мкм и 10,6 мкм по форме почти полностью совпадают, отличаясь только масштабом примерно в 20 раз, что ожидаемо, т.к. примерно также отличаются длины волн. Видимый и инфракрасный диапазоны можно разделять за счет использования двух разных щелевых диафрагм.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 16-29-11744-офи_м, 16-29-09528-офи_м, 14-07-00177-а).

Литература

1. **Offner, A.** New concepts in projection mask aligner / A. Offner // *Optical Engineering*. – 1975. – Vol. 14(2). – P. 130-132. – DOI: 10.1117/12.7978742.
2. **Offner, A.** Annular field systems and the future of optical microlithography / A. Offner // *Optical Engineering*. – 1987. – Vol. 26. – P. 294-299. – DOI: 10.1117/12.7974069.

3. **Mouroulis, P.** Convex grating types for concentric imaging spectrometers / P. Mouroulis, D.W. Wilson, P.D. Maker, R.E. Muller // *Applied Optics*. – 1998. – Vol. 37(31). – P. 7200-7208. – DOI: 10.1364/AO.37.007200.
4. **Prieto-Blanco, X.** Analytical design of an Offner imaging spectrometer / X. Prieto-Blanco, C. Montero-Orille, B. Couce, R. de la Fuente // *Optics Express*. – 2006. – Vol. 14(20). – P. 9156-9168. – DOI: 10.1364/OE.14.009156.
5. **Prieto-Blanco, X.** The Offner imaging spectrometer in quadrature / X. Prieto-Blanco, C. Montero-Orille, H. González-Núñez, M.D. Mouriz, E.L. Lago, R. de la Fuente // *Optics Express*. – 2010. – Vol. 18(12). – P. 12756-12769. – DOI: 10.1364/OE.18.012756.
6. **Kim, S.H.** Design and construction of an Offner spectrometer based on geometrical analysis of ring fields / S.H. Kim, H.J. Kong, J.U. Lee, J.H. Lee, J.H. Lee // *Review of Scientific Instruments*. – 2014. – Vol. 85(8). – P. 083108. – DOI: 10.1063/1.4892479.
7. **Huang, Y.** Non-approximate method for designing annular field of two mirror concentric system / Y. Huang, D. Zhu, B. Li, D. Zhang, Z. Ni, S. Zhuang // *Chinese Optics Letters*. – 2012. – Vol. 10(3) – P. 032201-032204.
8. **Головин, А.Д.** Имитационная модель многоканального гиперспектрометра Оффнера / А.Д. Головин, А.В. Дёмин // *Компьютерная оптика*. – 2015. – Т. 39, № 4. – С. 521-528. – DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-4-521-528.
9. **Карпеев, С.В.** Исследование дифракционной решётки на выпуклой поверхности как диспергирующего элемента / С.В. Карпеев, С.Н. Хонина, С.И. Харитонов // *Компьютерная оптика*. – 2015. – Т. 39, № 2. – С. 211-217.

Сведения об авторах

Скиданов Роман Васильевич, 1973 года рождения. В 1990 году с отличием окончил Самарский государственный университет (СамГУ) по специальности «Физика». Доктор физико-математических наук (2007 год), работает заведующим Лабораторией микро- и нанотехнологий Института систем обработки изображений РАН – филиала Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук (ИСОИ РАН), профессором кафедры технической кибернетики Самарского университета. Р.В. Скиданов – специалист в области дифракционной оптики, математического моделирования, обработки изображений и нанопотоники. В списке научных работ Р.В. Скиданова 90 статей, 5 монографий. E-mail: romans@smr.ru.

Бланк Вероника Александровна, 1992 года рождения, в 2013 получила степень бакалавра в СГАУ по специальности «Прикладные математика и физика». Область научных интересов: дифракционная оптика. E-mail: veronica_b@smr.ru.

ГРНТИ: 29.31.29

Поступила в редакцию 30 мая 2016 г. Окончательный вариант – 8 декабря 2016 г.

A DUAL-RANGE SPECTROMETER BASED ON THE OFFNER SCHEME

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

¹ Image Processing Systems Institute of RAS – Branch of the FSRC “Crystallography and Photonics” RAS, Samara, Russia,

² Samara National Research University, Samara, Russia

Abstract

We considered the feasibility of using a dual-range diffraction grating on the convex mirror in an imaging hyperspectrometer based on the Offner scheme. We conducted modeling in Zemax software. It is shown that the use of a dual-range grating allows one to use the hyperspectrometer based on the Offner scheme in two spectral ranges: the visible and mid-infrared.

Keywords: imaging spectrometer, dual-range diffraction grating.

Citation: Skidanov RV, Blank VA. A dual-range spectrometer based on the Offner scheme. *Computer Optics* 2016; 40(6): 968-971. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-6-968-971.

Acknowledgements: This work was funded by the Russian Foundation of Basic Research (grants №№ 16-29-11744-ofi_m, 16-29-09528-ofi_m, 14-07-00177-a).

References

- [1] Offner A. New concepts in projection mask aligner. *Optical Engineering* 1975; 14(2): 130-132. DOI: 10.1117/12.7978742.
- [2] Offner A. Annular field systems and the future of optical microlithography. *Optical Engineering* 1987; 26: 294-299. DOI: 10.1117/12.7974069.
- [3] Mouroulis P, Wilson DW, Maker PD, Muller RE. Convex grating types for concentric imaging spectrometers. *Applied Optics* 1998; 37(31): 7200-7208. DOI: 10.1364/AO.37.007200.
- [4] Prieto-Blanco X, Montero-Orille C, Couce B, de la Fuente R. Analytical design of an Offner imaging spectrometer. *Optics Express* 2006; 14(20): 9156-9168. DOI: 10.1364/OE.14.009156.
- [5] Prieto-Blanco X, Montero-Orille C, González-Nuñez H, Mouriz MD, Lago EL, de la Fuente R. The Offner imaging spectrometer in quadrature. *Optics Express* 2010; 18(12): 12756-12769. DOI: 10.1364/OE.18.012756.
- [6] Kim SH, Kong HJ, Lee JU, Lee JH, Lee JH. Design and construction of an Offner spectrometer based on geometrical analysis of ring fields. *Review of Scientific Instruments* 2014; 85(8): 083108. DOI: 10.1063/1.4892479.
- [7] Huang Y, Zhu D, Li B, Zhang D, Ni Z, Zhuang S. Non-approximate method for designing annular field of two mirror concentric system. *Chinese Optics Letters* 2012; 10(3): 032201-032204.
- [8] Golovin AD, Demin AV. Simulation model of a multi-channel Offner hyperspectrometer. *Computer Optics* 2015; 39(4): 521-528. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-4-521-528.
- [9] Karpeev SV, Khonina SN, Kharitonov SI. Fabrication and study of the diffraction grating on a convex surface for spectral instruments. *Computer Optics* 2015; 39(2): 211-217.

Authors' information

Roman Vasilevich Skidanov (b. 1973). Graduated with honours (1990) from Samara State University (SSU), majoring in Physics. He received his Doctor in Physics & Maths (2007) degrees from Samara State University. He is the head of Micro- and Nanotechnologies laboratory of Image Processing Systems Institute of RAS – Branch of the FSRC “Crystallography and Photonics” of the Russian Academy of Sciences, holding a part-time position of professor at SSU’s Technical Cybernetics sub-department. He is co-author of 90 scientific papers, 5 monographs. His current research interests include diffractive optics, mathematical modeling, image processing, and nanophotonics.

Veronika Alexandrovna Blank (b. 1992). She received her bachelor in Applied Mathematics and Physic (2013) in SSAU. Her research interests are currently diffractive optics.

Received May 30, 2016. The final version – December 8, 2016.