

# Дифракция вихревых пучков на кольцевых решетках с переменной высотой в ближней зоне

Д.А. Савельев<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 данной работе исследуется дифракция вихревых мод Лагерра-суперГаусса на кольцевых решетках с переменной высотой отдельных колец рельефа. При фокусировке кольцевой решеткой в ближней зоне получено фокальное пятно на 15% меньше, чем для дифракционного аксикона с аналогичной высотой центральной части рельефа.

## Ключевые слова

Кольцевые решетки, острая фокусировка, оптические вихри, FDTD

## 1. Введение

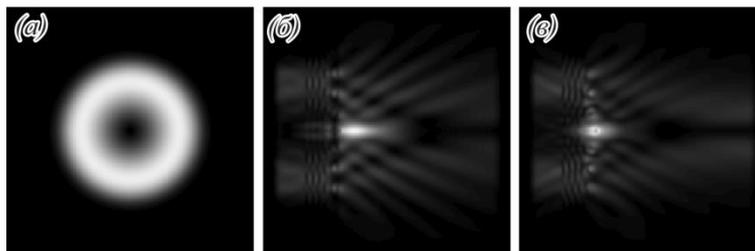
Дифракционные микро-аксиконы хорошо известны своим применением для решения ряда задач в микро- и нанооптике, в частности для формирования бездифракционных пучков [1]. При увеличении числовой апертуры аксикона, наблюдается уменьшение поперечного размера формируемого пучка [2], обеспечивая острую фокусировку лазерного излучения. Также в этом случае происходит формирование мощной продольной компоненты электрического поля [3]. Для усиления продольной компоненты электрического поля в случае однородной поляризации часто используется внесение фазовой сингулярности в лазерный пучок [4, 5].

В данной работе численно исследуется влияние изменения высоты отдельных колец дифракционного аксикона на фокусировку вихревых пучков первого порядка в ближней зоне. Моделирование дифракции (3D) было выполнено с применением метода конечных разностей во временной области (FDTD) с использованием высокопроизводительных компьютерных систем [6,7].

## 2. Исследование дифракции вихревых пучков

Параметры моделирования: длина волны  $\lambda = 0,532$  мкм, размер вычислительной ячейки  $x, y, z \in [-5,64\lambda; 5,64\lambda]$ . Толщина поглощающего слоя PML  $\sim 1,1\lambda$ , шаг выборки по пространству –  $\lambda/16$ , шаг по времени –  $\lambda/(32c)$ , где  $c$  скорость света. В качестве входного лазерного излучения рассматриваются моды Лагерра-суперГаусса (1,0) с круговой поляризацией, где поляризация противоположна по знаку внесённой вихревой фазовой сингулярности.

В качестве фокусирующего элемента рассматривается дифракционный аксикон с числовой апертурой (NA) 0,95 (период решетки  $1,05\lambda$ ) и кольцевая решетка с аналогичным периодом, у которой изменялась высота рельефа  $h$  каждого кольца с определенным шагом (кольцевая решетка). Показатель преломления рассматриваемых оптических элементов и подложки  $n$  был равен 1,5. Высота аксикона соответствовала фазовому скачку  $\pi$  радиан ( $h = \lambda$ ). Высота рельефа кольцевой решетки менялась, в частности, следующим образом: в центре  $h = \lambda$ , далее высота уменьшалась с каждым следующим кольцом элемента вплоть до  $h = 0,25\lambda$  к краю элемента (с шагом  $0,25\lambda$ ). На рисунке 1 показаны двумерные картины дифракции (интенсивность) моды Лагерра-суперГаусса (1,0) на рассматриваемых оптических элементах. Размер фокального пятна на оптической оси оценивался по полуширине по полуспаду интенсивности (FWHM).



**Рисунок 1:** Дифракция моды Лагерра-суперГаусса (1,0), (а) – входной пучок, (б) распространение излучения через дифракционный аксикон, (в) распространение излучения через кольцевую решетку с переменной высотой рельефа

Следует отметить, что размер фокального пятна для кольцевой решетки на 15% меньше, чем для дифракционного аксикона:  $FWHM = 0,67\lambda$  и  $FWHM = 0,79\lambda$ , соответственно. Максимум интенсивности на оптической оси формируется в непосредственной близости от края рельефа кольцевой решетки (0,1 $\lambda$ ), в отличие от стандартного аксикона, где максимум интенсивности формируется на расстоянии 0,68 $\lambda$  от рельефа элемента. Увеличение размеров освещающего пучка приводило к формированию максимума внутри кольцевой решетки.

### 3. Заключение

В данной работе проведено исследование дифракции вихревых пучков на кольцевых решетках в том числе с измененной высотой рельефа  $h$  каждого кольца. Для численного моделирования дифракции используется метод FDTD. Показано, что для рассматриваемой версии кольцевой решетки с переменной высотой рельефа было получено фокальное пятно на 15% меньшее, чем для дифракционного аксикона с аналогичной высотой центральной части рельефа.

### 4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 20-72-00051) в частях «Исследование дифракции вихревых пучков» и «Заключение», Министерства науки и высшего образования РФ, в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение 007-ГЗ/Ч3363/26) в части «Введение».

### 5. Литература

- [1] Durnin, J. Diffraction-free beams / J. Durnin, J.J. Miceli, J.H. Eberly // *Physical Review Letters*. – 1987. – Vol. 58(15). – P. 1499-1501.
- [2] Хонина, С.Н. Дифракция на бинарных микроаксиконах в ближней зоне / С.Н. Хонина, Д.А. Савельев, П.Г. Серафимович, И.А. Пустовой // *Оптический журнал*. – 2012. – Т. 79, № 10. – С. 12-29.
- [3] Хонина, С.Н. Высокоапертурные бинарные аксиконы для формирования продольной компоненты электрического поля на оптической оси при линейной и круговой поляризациях освещающего пучка / С.Н. Хонина, Д.А. Савельев // *ЖЭТФ*. – 2013. – Т. 144, № 4. – С. 718-726.
- [4] Huang, K. Vector-vortex Bessel–Gauss beams and their tightly focusing properties / K. Huang, P. Shi, G. Cao, K. Li, X. Zhang, Y. Li // *Optics Letters*. – 2011. – Vol. 36(6). – P. 888-890.
- [5] Chen, Z. Tight focusing properties of linearly polarized Gaussian beam with a pair of vortices / Z. Chen, J. Pu, D. Zhao // *Physics Letters A*. – 2011. – Vol. 375(32). – P. 2958-2963.

- [6] Savelyev, D. The investigation of the cylindrically polarized beams focusing by a diffractive axicon using high-performance computer systems / D. Savelyev // International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT), IEEE. – 2020.