

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОКУСИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ОБОБЩЕННОЙ ЛИНЗЫ С ВЫСОКОЙ ЧИСЛОВОЙ АПЕРТУРОЙ.

Карсаков А.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Аннотация

Численно исследуются параметры фокального пятна, формируемого обобщенной линзой с дробной степенью зависимости фазы функции пропускания от радиуса – фраксиконом. Моделирование проводилось для двух наборов дифракционных оптических элементов с высокими числовыми апертурами ($NA = 0,5$ и $NA = 1$).

Ключевые слова: обобщенная линза, фраксикон, высокая числовая апертура.

Введение

В данной работе численно исследуются параметры фокального пятна, формируемого обобщенной линзой, которая в работе [1] была названа фраксиконом. В зависимости от значения дробной степени фраксикон позволяет формировать как масштабно уменьшающиеся бесселевы пучки - аналог линзокона [2,3], так и масштабно увеличивающиеся с соответствующим удлинением глубины поля, что близко по свойствам к логарифмическому аксикону [4].

1. Исследование обобщенной линзы

Рассмотрим дифракционный оптический элемент (ДОЭ), имеющий комплексную функцию пропускания вида:

$$\tau(r) = \exp\left[-i(k\alpha_0 r)^\gamma\right], \quad (1)$$

где $k = 2\pi/\lambda$, λ – длина волны падающего на элемент излучения, α_0 – безразмерный коэффициент, определяющий числовую апертуру ДОЭ, γ – положительная действительная величина.

Элемент (1) можно определить как обобщенную линзу, так как при конкретных значениях γ , он соответствует таким классическим элементам как параболическая линза ($\gamma=2$) или аксикон ($\gamma=1$). Но так как значения γ могут быть дробными, то в [1] этот элемент был назван фраксиконом.

Параметр α_0 вычисляется исходя из значения числовой апертуры рассматриваемого ДОЭ:

$$\alpha_0 = \left[\frac{NA}{\gamma(kR)^{\gamma-1}} \right]^{1/\gamma}, \quad (2)$$

где NA – числовая апертура, R – радиус оптического элемента.

2. Результаты численного моделирования

В данном разделе приведены результаты численного моделирования для двух наборов оптических элементов с числовыми апертурами $NA = 0,5$ и $NA = 1$.

Все расчёты выполнялись с использованием метода разложения по плоским волнам, который детально рассмотрен в работе [5]:

$$E(\rho, \theta, z) = \frac{1}{\lambda^2} \int_{\sigma_0}^{\sigma_1} \int_0^{2\pi} P(\sigma, \varphi) \exp\left[ik\sigma\rho \cos(\theta - \varphi)\right] \times \\ \times \exp\left[ikz\sqrt{1 - \sigma^2}\right] \sigma d\sigma d\varphi, \quad (3)$$

где $P(\sigma, \varphi)$ для линейной x -поляризации имеет вид:

$$P(\sigma, \varphi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -\frac{\sigma \cos \varphi}{\sqrt{1 - \sigma^2}} & -\frac{\sigma \sin \varphi}{\sqrt{1 - \sigma^2}} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} F_x(\sigma, \varphi) \\ F_y(\sigma, \varphi) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где

$$\begin{pmatrix} F_x(\sigma, \varphi) \\ F_y(\sigma, \varphi) \end{pmatrix} = \\ = \int_0^{\sigma} \int_0^{2\pi} \begin{pmatrix} E_{0x}(r, \phi) \\ E_{0y}(r, \phi) \end{pmatrix} \exp\left[ikr\sigma \cos(\phi - \varphi)\right] r dr d\phi. \quad (5)$$

В табл. 1 приведены результаты численного моделирования для набора ДОЭ с числовой апертурой $NA = 0,5$. Как можно видеть, фраксикон со степенью зависимости от радиуса $\gamma = 1,5$ даёт в максимуме большую интенсивность, чем линейный аксикон, и меньшее в поперечнике, чем у линзы, пятно в фокусе.

В табл. 2 приведены результаты численного моделирования для набора ДОЭ с предельной числовой апертурой $NA = 1$. Интересно отметить, что при данной числовой апертуре, наилучшее соотношение между поперечным размером пятна и интенсивности в нем, было достигнуто для линейного аксикона.

Заключение

В работе рассмотрены характеристики светового пятна, формируемого фраксиконом в зависимости от параметра, соответствующего степени от радиальной координаты фазовой функции.

Известные два классических оптических элемента – аксикон и линза – являются частными случаями фраксикона. Линза собирает всю энергию в пятно как вдоль, так и поперёк оптической оси. Картина в фокусе при этом соответствует картине Эйри. Для аксикона энергия в максимуме меньше, чем энергия в фокусе линзы из-за протяжённости фокуса аксикона.

Таблица 1. Результаты численного моделирования для обобщенной линзы с $NA = 0,5, R = 100\lambda$

	Фаза	Продольное распределение	Поперечное распределение интенсивности в максимуме		
			XoY	Сечение	$FWHM, I_M$
$\gamma = 0,5$ $\alpha_0 = 2\pi$					$2,13 \lambda,$ $21,16$
$\gamma = 1$ $\alpha_0 = 0,5$					$0,8 \lambda,$ $1802,95$
$\gamma = 1,5$ $\alpha_0 = 0,056$					$0,85 \lambda,$ $4791,56$
$\gamma = 2$ $\alpha_0 = 0,0199$					$1,13 \lambda,$ $11770,94$
$\gamma = 3$ $\alpha_0 = 0,0075$					$0,89 \lambda,$ $1141,45$

Таблица 2. Результаты численного моделирования для обобщенной линзы с предельной $NA = 1, R = 10\lambda$

	Фаза	Продольное распределение	Поперечное распределение интенсивности в максимуме		
			XoY	Сечение	$FWHM, I_M$
$\gamma = 0,5$ $\alpha_0 = 80\pi$					$Z = 4 \lambda,$ $0,877 \lambda,$ $3,65$
$\gamma = 1$ $\alpha_0 = 1$					$Z = 1,5 \lambda,$ $0,857 \lambda,$ $29,38$
$\gamma = 1,5$ $\alpha_0 = 0,192$					$Z = 4,58 \lambda,$ $0,76 \lambda,$ $206,82$
$\gamma = 2$ $\alpha_0 = 0,089$					$Z = 10,5 \lambda,$ $0,84 \lambda,$ $234,44$
$\gamma = 3$ $\alpha_0 = 0,0439$					$Z = 13,35 \lambda,$ $0,868 \lambda,$ $83,64$

Примечание: в колонке « XoY » – приведены негативные изображения

Но при этом у аксикона меньше поперечный размер пятна в максимуме интенсивности. Это свойство может быть полезно для задач субволновой локализации излучения.

Фраксикон со степенью зависимости от радиуса γ (1;2) наиболее интересен, так как он позволяет варьировать размеры пятна и интенсивность между двумя классическими случаями.

Литература

1. **Хонина, С.Н.** Фраксикон – дифракционный оптический элемент с конической фокальной областью / С.Н. Хонина, С.Г. Волотовский // Компьютерная оптика. – 2009. – Т. 33, № 4. – С. 401-411.
2. **Koronkevich, V.P.** Lensacon / V.P. Koronkevich, I.A. Mikhailtsova, E.G. Churin and Yu.I. Yurlov // Appl. Opt. – 1993. – Vol. 34(25). – P. 5761-5772.
3. **Хонина, С.Н.** Линзакон: непараксиальные эффекты / С.Н. Хонина, Н.Л. Казанский, А.В. Устинов, С.Г. Волотовский // Оптический журнал. – 2011. – Т. 78, № 11. – С. 44-51.
4. **Хонина, С.Н.** Сравнительный анализ распределений интенсивности, формируемых дифракционным аксиконом и дифракционным логарифмическим аксиконом / С.Н. Хонина, С.А. Балалаев // Компьютерная оптика. – 2009. – Т. 33, № 2. – С. 162-174.
5. **Хонина, С.Н.** Алгоритмы быстрого расчета дифракции радиально-вихревых лазерных полей на микроапертуре / С.Н. Хонина, А.В. Устинов, С.Г. Волотовский, М.А. Ананьин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12(4). – С. 15-25.

References

1. **Khonina, S.N.** Fracxicon – diffractive optical element with conical focal domain / S.N. Khonina, S.G. Volotovskiy // Computer Optics. – 2009. – Vol. 33, N 4. – P. 401-411. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
2. **Koronkevich, V.P.** Lensacon / V.P. Koronkevich, I.A. Mikhailtsova, E.G. Churin and Yu.I. Yurlov // Appl. Opt. – 1993. – Vol. 34(25). – P. 5761-5772.
3. **Khonina, S.N.** The lensacon: nonparaxial effects / S.N. Khonina, N.L. Kazanskiy, A.V. Ustinov and S.G. Volotovskiy // J. Opt. Technol. – 2011. – Vol. 78(11). – P. 724-729.
4. **Khonina, S.N.** The comparative analysis of the intensity distributions formed by diffractive axicon and diffractive logarithmic axicon / S.N. Khonina, S.A. Balalayev // Computer Optics. – 2009. – Vol. 33(2). – P. 162-174. – (In Russian).
5. **Khonina, S.N.** Fast calculation algorithms for diffraction of radially-vortical laser fields on the microaperture / S.N. Khonina, A.V. Ustinov, S.G. Volotovskiy, M.A. Ananin // Izvest. SNC RAS – 2010. – V. 12(3). – P. 15-25. – (In Russian).

RESEARCHING OF FOCUSING PROPERTIES FOR HIGHT-APERTURE GENERALIZED LENS

A.V. Karsakov

S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University)

Abstract

Numerical researching of focusing properties for high-aperture generalized lens with fractional dependency degree from the radius. Modeling was conducted for two sets of diffractive optical elements with different high numerical apertures.

Key words: generalized lens, fracxicon, high numerical aperture.

Сведения об авторе



Карсаков Алексей Владиславович, студент Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва. Область научных интересов: дифракционная оптика.

E-mail: karsakov.aleksejj@rambler.ru.

Aleksey Vladislavovich Karsakov, student of the Samara State Aerospace University named after S.P. Korolyov. Research interests: diffractive optics.