

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СФОКУСИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПРЕОБЛАДАЮЩЕЙ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПОНЕНТОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Дегтярёв С.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)

Аннотация

В работе проведён анализ возможности детектирования остросфокусированного микроаксином излучения с преобладающей продольной компонентой электрического поля. Установлены соотношения энергетических характеристик лазерного пучка на входе и на выходе различных сканирующих тейперов. Показана чувствительность конического тейпера к остросфокусированному излучению с преобладающей z -компонентой в центральном пике.

Ключевые слова: FDTD-метод, рефракционный микроаксикон, острая фокусировка, сканирующий тейпер, детектирование излучения.

Введение

При острой фокусировке лазерных пучков в фокальном пятне неизбежно возрастает продольная компонента колебаний электрического поля [1, 2]

В настоящих микроскопах используются тейперы с металлическим покрытием (рис. 4–6). Однако, известно, что чувствительность тейпера к остросфокусированному излучению с преобладающей z -компонентой очень низка. В работе было проведено моделирование прохождения сфокусированного микроаксином излучения через различные детектирующие элементы. В работе исследовались следующие элементы: рефракционный аксикон, цилиндрический и конический тейперы с металлическим покрытием.

Численное моделирование осуществляется с помощью разностного метода решения уравнений Максвелла (FDTD) [3], реализованного в программном пакете RSoft FullWAVE. В силу того, при использовании данного метода затруднительно моделировать металлы с высокой проводимостью, в работе использовался коэффициент затухания материала покрытия тейперов, равный 1,6, соответствующий слабопроводящим металлам. Показатель преломления диэлектрического материала тейперов и аксиконов равен 1,5.

1. Обратимость хода излучения в аксиконе

Пусть на входе в основание аксикона задано распределение вектора напряженности электрического поля соответствующее лазерному пучку с вихревой структурой фазы:

$$E_x(r, \varphi, z = 0) = A r \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right) \exp(i\varphi), \quad (1)$$

где (r, φ) – полярные координаты в плоскости основания аксикона; A – нормирующий множитель; $\sigma = 1,5$ мкм – радиус гауссового пучка. Пучок имеет линейную x -поляризацию.

При фокусировке пучка (1) микроаксиконом с углом при вершине 94 градуса (высота – 2,8 мкм, диаметр основания – 6 мкм) на выходе формируется фокальное пятно, распределение интенсивности которого изображено на рис. 1.

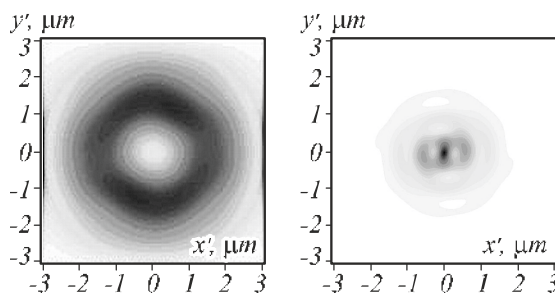


Рис. 1. Интенсивность в инициирующем излучении в основании (слева), в фокальном пятне (справа)

Размер фокального пятна по полуспаду интенсивности в направлении поляризации $FWHM_x = 0,3\lambda$. При этом в центральном пике фокального пятна основной вклад в интенсивность вносит продольная компонента вектора электрического поля.

Возникает вопрос о том, как детектировать остросфокусированные фокальные распределения с подобной структурой. Рассмотрим прохождения такого излучения через микроаксикон от вершины к основанию. Схема численного эксперимента представлена на рис. 2. Пучок (1) освещает основание левого аксикона, между аксиконом формируется фокальное пятно, затем излучение проходит через правый аксикон

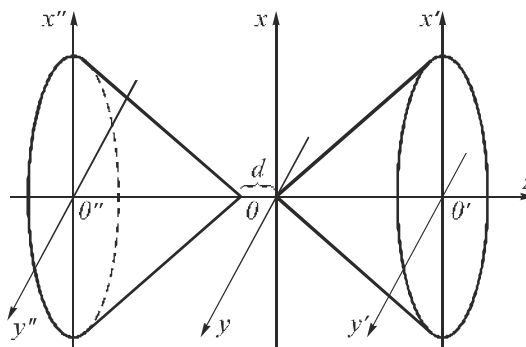


Рис. 2. Расположение аксиконов в вычислительном эксперименте

При прохождении сфокусированного излучения через микроаксикон от вершины к основанию, наблюдается некоторая обратимость хода лучей. На рис. 3 показано распределение интенсивности на выходе из основания правого аксикона.

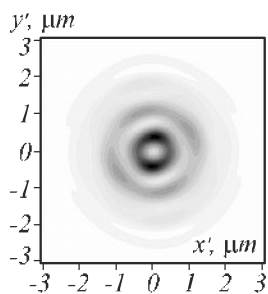


Рис. 3. Интенсивность на выходе из правого аксикона

Из рис. 1 (слева) и рис. 3 видно, что фокусируемое и детектируемое излучения имеют сходную кольцеобразную структуру. В центре распределений в обоих случаях наблюдается минимум интенсивности. Энергетический анализ пятен на входе и на выходе показал, что 90% энергии проходит от острия до основания правого аксикона (рис. 2) при этом, наиболее полное пропускание наблюдается при равенстве углов раскрытия левого и правого аксиконов.

2. Детектирование z-компоненты с помощью цилиндрического тейпера

При моделировании детектирования остросфокусированного пятна (рис. 1, справа) цилиндрическим тейпером (рис. 4) с металлическим покрытием, можно сделать вывод о том, что такой тейпер не чувствителен к сильно расходящемуся входному излучению с преобладающей z-компоненты в центральном пике.

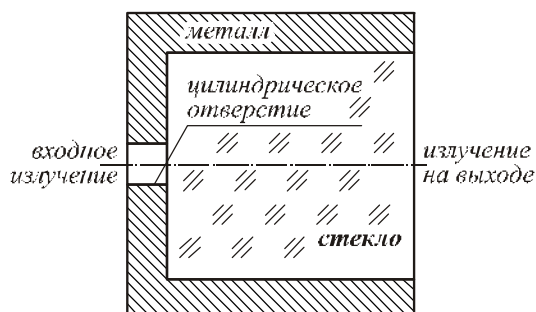


Рис. 4. Цилиндрический тейпер: диаметр входного отверстия 0,3λ, диаметр выходного окна 6λ

Энергетический анализ входного и выходного излучений показывает, что на выходе тейпера оказывается лишь 0,5% энергии, что крайне мало для детектирования.

3. Детектирование z-компоненты с помощью конического волновода

Волновод конической формы, выполненный из металла (рис. 5, диаметры входного и выходного отверстий 0,3λ и 6λ, соответственно) также пропускает очень малую долю входного сфокусированного излучения. Через такой волновод проходит только 0,6% всей энергии остросфокусированного входного излучения.

Также в работе рассмотрен случай, когда для детектирования остросфокусированного излучения с преобладающей z-компонентой в центральном пике используется конический диэлектрический тейпер, покрытый металлом (рис. 6).

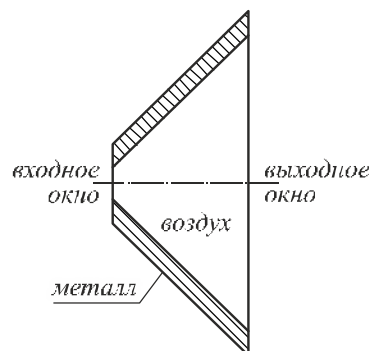


Рис. 5. Конический металлический волновод

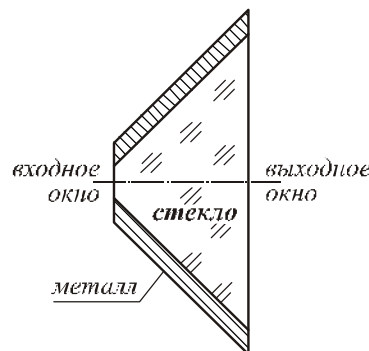


Рис. 6. Конический тейпер

При такой структуре сканирующего элемента на выходе оказывается около 15% энергии, что вполне достаточно для детектирования.

В табл. 1 приведён энергетический анализ излучения на входе и на выходе из тейпера.

Таблица 1. Энергии на входе и выходе диэлектрического конического тейпера, покрытого металлом

Энергия	Полная	z-комп.	x-комп.
На входе	62000	25700	35700
На выходе	9370	6630	2500
Соотношение	0,15	0,26	0,07

Из табл. 1 видно, что конический тейпер со стеклянной сердцевинкой пропускает через себя 15% энергии, что вполне достаточно для детектирования рассматриваемого излучения.

Заключение

При прохождении вихревого пучка (1) через микроаксикон формируется фокальное пятно, в центральном пике которого преобладает продольная компонента колебаний вектора электрического поля. В работе было рассмотрено прохождения такого сфокусированного пучка через различные детектирующие элементы.

Было получено следующее.

– При прохождении сфокусированного пучка через микроаксикон от вершины к основанию, сохраняется 90% энергии пучка, а также кольцевая структура распределения интенсивности на входе и на выходе системы из двух микроаксиконов, что подтверждает обратимость хода излучения при распространении в микроаксиконе.

– Показано, что использование цилиндрического тейпера, а также полого конического металлического волновода неэффективно для детектирования рассматриваемого излучения.

– Эффективное детектирование сфокусированного излучения с преобладающим вкладом продольной компоненты в центральном пике может осуществляться с помощью конического тейпера с оптически плотной сердцевиной. Показано, что в этом случае через стеклянный тейпер проходит в 25 раз больше энергии, чем через полый волновод той же формы.

Литература

1. **Котляр, В.В.** Моделирование острой фокусировки радиально-поляризованной лазерной моды с помощью конического и бинарного микроаксиконов / В.В. Котляр, С.С. Стафеев // Компьютерная оптика. – 2009. – Т. 33, № 1. – С. 52-60.
2. **Хонина, С.Н.** Управление вкладом компонент векторного электрического поля в фокусе высокоапертурной линзы с помощью бинарных фазовых структур / С.Н. Хонина, С.Г. Волотовский // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, № 1. – С. 58-68.

3. **Головашкин, Д.Л.** Расчёт дифракции на оптическом микрорельефе методом FDTD / Д.Л. Головашкин, Н.Л. Казанский, С.А. Малышева // LAP LAMBERT Academic Publishing, Германия, 2011. – 236 с. – ISBN-13: 978-3-8454-0996-2; ISBN-10: 3845409967.

References

1. **Kotlyar, V.V.** Modeling sharp focus radially-polarized laser mode with conical and binary microaxicons / V.V. Kotlyar, S.S. Stafeyev // Computer Optics. – 2009. – V. 33, N 1. – P. 52-60. – (in Russian).
2. **Khonina, S.N.** Control by contribution of components of vector electric field in focus of a high-aperture lens by means of binary phase structures / S.N. Khonina, S.G. Volotovskiy // Computer Optics. – 2010. – Vol. 34, No. 1. – P. 58-68. – (in Russian).
3. **Golovashkin, D.L.** Computing of diffraction on optical microrelief using FDTD-method / D.L. Golovashkin, N.L. Kazanskiy, S.A. Malysheva // LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2011. – 236 p. – ISBN-13: 978-3-8454-0996-2; ISBN-10: 3845409967. – (In Russian).

DETECTION OF SHARP FOCUSED LASER BEAM WITH DOMINATING LONGITUDINAL COMPONENT OF THE ELECTRIC FIELD

S.A. Degtyarev

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

Abstract

In this work the ability to detection of sharp focused radiation with dominating longitudinal component of the electric field was analyzed. The proportions of beam's energy characteristics in input and output of different scanning tapers were found. The sensitivity of conical taper for sharp focused radiation with dominating z-component in the central peak was demonstrated.

Key words: FDTD-method, refractive microaxicon, sharp focusing, scanning taper, detecting of radiation.

Сведения об авторе



Дегтярёв Сергей Александрович, студент Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (НИУ). Область научных интересов: дифракционная и сингулярная оптика.

E-mail: sealek@gmail.com.

Sergei Alexandrovich Degtyarev, student of the Samara State Aerospace University named after S.P. Korolyov (NRU). Research interests: diffractive and singular optics.