

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.373.826 : 772.99

Д. Л. Головашкин, В. А. Сойфер

(Самара)

АНАЛИЗ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ЧЕРЕЗ ДИФРАКЦИОННУЮ ЛИНЗУ

Представлены результаты использования разностного метода решения уравнений Максвелла для ТЕ-поляризованной электромагнитной волны, проведен анализ прохождения этой волны через двухградационную дифракционную цилиндрическую линзу, заключенную в металлическую оболочку.

**Постановка задачи.** В случае ТЕ-поляризованной волны на плоскости в левосторонней декартовой системе координат уравнения Максвелла примут следующий вид [1]:

$$\begin{cases} \frac{\partial E_x}{\partial \tau} = \frac{1}{\varepsilon(y, z)} \left( \frac{\partial H_y}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial y} \right); \\ \frac{\partial H_y}{\partial \tau} = \frac{\partial E_x}{\partial z}; \\ \frac{\partial H_z}{\partial \tau} = -\frac{\partial E_x}{\partial y}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $E$  и  $H$  – электрическая и магнитная составляющие поля;  $\tau = ct$  ( $c$  – скорость света в свободном пространстве);  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость. Пусть среда представляет собой тонкий слой, расположенный в плоскости  $Y, Z$ , а излучение направлено вдоль оси  $Z$ . На границе слоя положим  $E_x = 0$ , что соответствует наличию металлической оболочки. Предложенный в [2] метод решения (1) заключается в замене производных разностными отношениями на определенной сетке и расщеплении первого уравнения Максвелла. Полученную таким образом разностную схему применим для анализа распространения электромагнитного излучения через линзу.

**Численное моделирование распространения излучения.** На рис. 1 представлены:  $a$  – обычная фокусирующая линза с фокусным расстоянием  $f = 5$  мкм, длиной волны  $\lambda = 1$  мкм и показателем преломления  $n = 2,0$ , а также

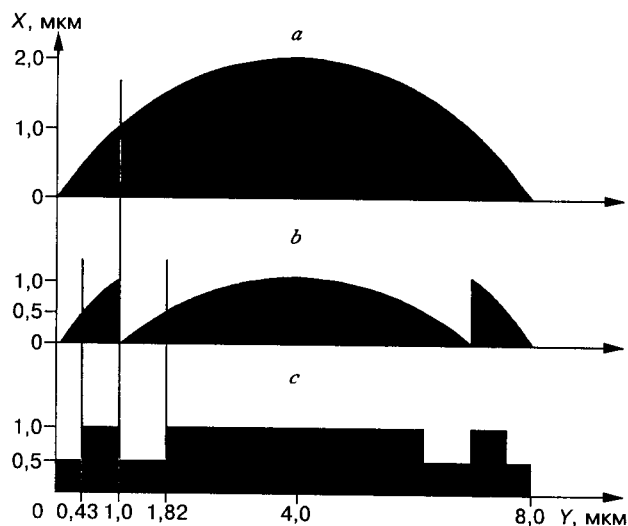


Рис. 1. Фазовый рельеф обычной (а), френелевской (b) и бинарной (с) дифракционной линз

соответствующие ей линза Френеля (b) и бинарная дифракционная линза (с). На рис. 2 показана проекция векторов Пойнтинга

$$P_z = \frac{1}{P_{z \max}} \int_0^T E_x H_y dt \quad (2)$$

в фокальной плоскости на направление распространения для обычной и дифракционной линз. В выражении (2)  $T$  – длительность интервала усреднения во времени, а  $P_{z \max}$  – максимальное значение проекции вектора Пойнтинга на интервале от 0 до  $T$ .

В работе [1] в качестве характеристики рассматривалось распределение  $|E|^2$  в фокусе линзы, отнесенное к произвольному моменту времени, а в работе [3] – усредненное во времени распределение  $|E|^2$ . Однако, по мнению авторов, вектор Пойнтинга является более полной характеристикой. При этом

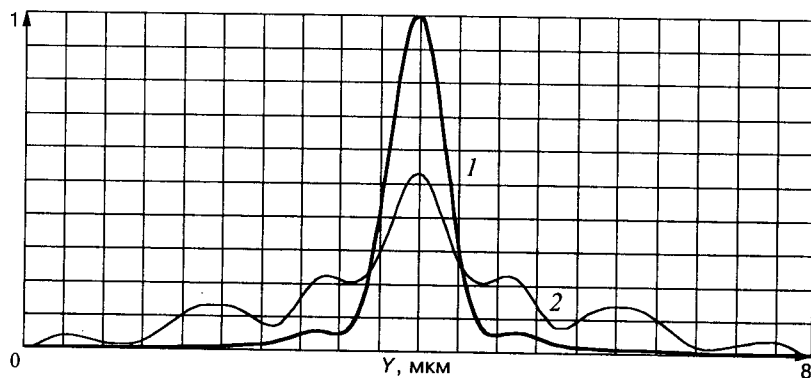


Рис. 2. Распределение интенсивности в фокальной плоскости обычной (кривая 1) и дифракционной (кривая 2) линз

стоит отметить, что предложенный метод позволяет анализировать любой набор характеристик фокусировки.

При проведении численных экспериментов проверялся закон сохранения энергии. Если в замкнутую область не проникает излучение и не покидает ее, то полная энергия электромагнитного поля в данной области всегда остается постоянной [4]:

$$W = \frac{1}{2} \int_V (ED + HB) dv, \quad (3)$$

где  $D$ ,  $B$  – электрическая и магнитная индукции;  $V$  – область, ограниченная металлическими стенками. Эксперимент показал, что закон сохранения энергии выполняется.

Определим эффективность дифракционной линзы как отношение максимума проекции вектора Пойнтинга такой линзы к соответствующему максимуму, рассчитанному для обычной линзы. В данном случае, согласно проведенным расчетам, эффективность составляет 52,9 %. На эффективность прежде всего влияет то, что дифракционная линза имеет всего две градации фазы, а также наличие металлических стенок, которые, не позволяя излучению покинуть область  $V$ , создают сложную интерференционную картину в фокальной плоскости, размывая распределение вектора Пойнтинга.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головашкин Д. Л., Дегтярев А. А., Сойфер В. А. Моделирование волноводного распространения оптического излучения в рамках электромагнитной теории // Компьютерная оптика. 1997. № 17. С. 5.
2. Головашкин Д. Л., Дегтярев А. А. Алгоритм второго порядка точности по времени для решения уравнений Максвелла // Компьютерная оптика. 1998. № 18. С. 36.
3. Mirotznik M. S., Prather D. W., Mait J. N. A hybrid finite element – boundary element method for the analysis of diffractive elements // Journ. Modern Optics. 1996. 43. P. 1309.
4. Никольский В. В., Никольская Т. И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1989.

*Поступило в редакцию 15 февраля 1999 г.*