Л.Л.Досколович, Н.Л.Казанский, В.А.Сойфер

АНАЛИЗ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРООПТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ ФОКУСИРОВКИ В ПРОДОЛЬНЫЙ ОТРЕЗОК

Введение

Для получения оптического разряда в газе [1], в оптических системах звукозаписи и воспроизведения [2], для бесконтактных измерений в специализированных микроскопах [3] и многих других областях [4] требуются оптические элементы, фокусирующие лазерное излучение в продольный отрезок.

Для фокусировки излучения в продольный отрезок используются рассчитываемые в геометрооптическом приближении дифракционные оптические элементы (ДОЭ), известные как фокусаторы [4-6]. В работе [7] для расчета ДОЭ, фокусирующего в продольный отрезок, применен итеративный алгоритм. Основным недостатком методов [4-7] является неравномерность распределения энергии, сфокусированной в ε-окрестности оптической оси. В настоящей работе предлагаются аналитический и итерационный методы расчета новых "квазипериодических" ДОЭ, фокусирующих излучение в отрезок оптической оси. На основе вычислительного эксперимента проводится сравнительный анализ работоспособности геометрооптического и квазипериодического решений задачи фокусировки в продольный отрезок.

Постановка задачи фокусировки

Предположим, что лазерный пучок с комплексной амплитудой

$$W_0(r)=\sqrt{I_0(r)}\exp\left[i\varphi_0(r)\right],\qquad r\in[0,R], \quad (1)$$

где $I_0(r)$ - интенсивность, а $\varphi_0(r)$ - фаза освещающего пучка, падает на ДОЭ с круглой апертурой радиуса R. ДОЭ располагается в плоскости z=0 (Рис.1) и преобразует падающее излучение в поле с комплексной амплитудой

$$W(r)=W_0(r)\exp\left[i\hat{\varphi}(r)\right], \quad (2)$$

где $\hat{\varphi}(r)$ - фазовая функция ДОЭ.

Требуется рассчитать фазовую функцию $\hat{\varphi}(r)$, обеспечивающую фокусировку падающего пучка в отрезок оптической оси с распределением интенсивности $I(z)$, $z\in[z_1,z_2]$.

Для удобства представим $\hat{\varphi}(r)$ в форме

$$\hat{\varphi}(r)=\varphi(r)-\varphi_0(r). \quad (3)$$

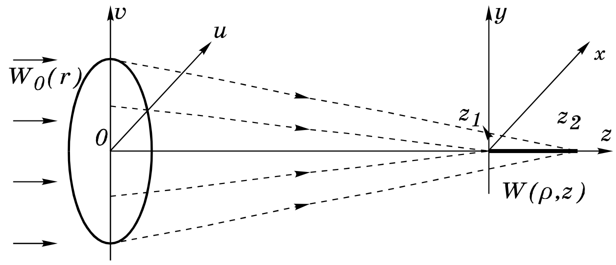

Рис. 1. Геометрия задачи фокусировки в продольный отрезок.

Представление (3) обеспечивает возможность расчета ДОЭ независимо от фазы $\varphi_0(r)$ освещающего пучка. В дальнейшем изложении используется функция $\varphi(r)$, которая однозначно определяет фазовое пропускание ДОЭ.

Расчет фазовой функции ДОЭ

Комплексная амплитуда $W(\rho,z)$, $\rho=\sqrt{x^2+y^2}$ поля в фокальной области ДОЭ (см. Рис. 1) определяется через комплексное пропускание ДОЭ $exp[i\varphi(r)]$ на основе интеграла Френеля-Кирхгофа [8,9]

$$W(\rho,z)=\frac{k}{z}\exp\left(i\frac{k\rho^2}{2z}\right)\times$$
$$\times\int_0^R\sqrt{I_0(r)}\exp\left[i\varphi(r)\right]\exp\left(i\frac{kr^2}{2z}\right)J_0\left(k\frac{r\rho}{z}\right)r\,dr, \quad (4)$$

где k=$2\pi/\lambda$, λ - длина волны, а $J_0(r)$ - функция Бесселя первого рода нулевого порядка [10].

Для комплексной амплитуды поля на оптической оси (ρ=0) уравнение (4) принимает вид

$$W(0,z)=\frac{k}{z}\int_0^R\sqrt{I_0(r)}\exp\left(i\varphi(r)+ik\frac{r^2}{2z}\right)r\,dr. \quad (5)$$

Подстановка переменных в форме

$$\xi=-\frac{z_1}{z}\ \text{ и }\ x=\frac{r^2}{2} \quad (6)$$

позволяет переписать уравнение (5) в виде

$$W(\xi)=-\frac{k}{z_1}\xi\int_0^{R^2/2}\sqrt{I_0\left(\sqrt{2x}\right)}\exp\left[i\varphi_1(x)\right]\exp\left(-ik\frac{x\xi}{z_1}\right)dx, \quad (7)$$

где $\varphi_1(x)=\varphi\left(\sqrt{2x}\right)$.

Как следует из формулы (7) задача фокусировки в продольный отрезок с распределением интенсивности $I(z)$, $z\in[z_1,z_2]$, сводится к задаче расчета фазовой функции $\varphi_1(x)$ одномерного ДОЭ, фокусирующего пучок с комплексной амплитудой $\sqrt{I_0\left(\sqrt{2x}\right)}\exp\left(-ik\,x^2/2z_1\right)$, $x\in\left[0,\ R^2/2\right]$, в поперечный отрезок с распределением интенсивности $I\left(-z_1/\xi\right)/\xi^2$, $\xi\in\left[-1,\ -z_1/z_2\right]$ в плоскости, расположенной на расстоянии z_1 от апертуры одномерного ДОЭ. Используя различные методы расчета фазовой функции $\varphi_1(x)$ одномерного ДОЭ можно получить различные решения задачи фокусировки в продольный отрезок.

В рамках геометрооптического приближения фазовую функцию одномерного ДОЭ можно найти из решения следующей системы уравнений [11,12]

$$\begin{cases}\varphi_1(x)=\varphi(x)-\varphi_0(x)\\ \dfrac{d\varphi(x)}{dx}=\dfrac{k}{f}(\xi-x)\\ \dfrac{I_0(x)}{I_1(\xi)}=\dfrac{d\xi}{dx}, \qquad x\in\left[x_0,x_1\right],\quad \xi\in\left[\xi_0,\xi_1\right],\end{cases} \tag{8}$$

где $\varphi_0(x)$ - фазовая функция освещающего пучка, f - расстояние до плоскости фокусировки, $I_0(x)$ - интенсивность освещающего пучка, $I_1(\xi)$ - требуемое распределение интенсивности в плоскости фокусировки.

В частности, при фокусировке плоского пучка в продольный отрезок с постоянной интенсивностью уравнения (6) и (8) дают фазовую функцию ДОЭ в форме

$$\varphi(r)=\frac{-kR^2}{2L}\ln\left[\frac{r^2L}{R^2z_1}+1\right], \tag{9}$$

где $L = z_2 - z_1$.

При L/z_1<<1 использование аппроксимации $ln(1+x)\approx x - x^2/2$ приводит уравнение (9) к виду

$$\varphi(r)=\frac{-kr^2}{2z_1}+\frac{kr^4L}{4R^2z_1^2}\,. \tag{10}$$

Фазовая функция (10) соответствует фазовой функции тонкой линзы с введенной сферической аберрацией.

Следует заметить, что приближение геометрической оптики для расчета $\varphi_1(x)$ дает уравнения (9) и (10), которые совпадают с фазовыми функциями фокусаторов, описанных в работах [4-7]. В связи с этим в дальнейшем изложении ДОЭ, определяемые уравнениями (9) и (10), будем называть фокусаторами.

Рассмотрим также получение фазовой функции $\varphi_1(x)$ на основе использования итерационного алгоритма Герчберга-Секстона [13] или одной из его модификаций [7,14,15], позволяющих улучшить геометрооптические решения (9) и (10).

В работе [16] сообщается о расчете "квазипериодических" ДОЭ, близких по своим функциональным свойствам к физическим голограммам, так как каждый период апертуры таких ДОЭ формирует полную фокальную область. При фокусировке сходящегося сферического пучка фазовая функция $\varphi_1(x)$, $x\in[x_0,x_1]$, одномерного квазипериодического ДОЭ соответствует K-раз повторенной фазовой функции $\varphi_p(x)$, $x\in[0,(x-x_0)/K]$, которая обеспечивает фокусировку в требуемый отрезок. Для каждого периодического повторения вводится свой постоянный фазовый сдвиг [15]

$$\varphi_i=\frac{\pi i^2}{K},\qquad i=0,\ldots,K-1\,, \tag{11}$$

K - четное.

Таким образом, фазовая функция квазипериодического ДОЭ имеет вид

$$\varphi_1(x)=\varphi_p\left(x-x_1-\alpha\,\mathrm{int}\left[\frac{x-x_1}{\alpha}\right]\right)+\frac{\pi}{K}\mathrm{int}\left[\frac{x-x_1}{\alpha}\right]^2 \tag{12}$$

где $\alpha=(x_2-x_1)/K$, а int$[x]$ есть целая часть x.

Функция $\varphi_p(x)$, $x\in[0,\alpha]$, в уравнении (12) может быть получена аналитически на основе решения системы (8) или численно - используя итерационный алгоритм Герчберга-Секстона.

Используя функцию $\varphi_p(x)$, полученную на основе решения системы (8), можно найти фазовую функцию ДОЭ, фокусирующего плоский пучок в продольный отрезок:

$$\varphi(r)=\frac{-kR^2}{2KL}\ln\left(\frac{LK}{R^2z_1}\left(r^2-\frac{R^2}{K}\mathrm{int}\left[\frac{r^2K}{R^2}\right]\right)+1\right)+\tilde{\varphi}(r) \tag{13}$$

где

$$\tilde{\varphi}(r)=\frac{\pi}{K}\mathrm{int}\left[\frac{r^2K}{R^2}\right]^2 \tag{14}$$

Заметим, что для K=1 уравнение (13) соответствует фазовой функции фокусатора (9). Если L/z_1<<1 уравнение (13) может быть сведено к виду

$$\varphi(r)=-\frac{kr^2}{2z_1}+\frac{kR^2}{2z_1K}\,\mathrm{int}\left[\frac{r^2K}{R^2}\right]+ + \frac{kLK}{4R^2z_1^2}\left(r^2-\frac{R^2}{K}\mathrm{int}\left[\frac{r^2K}{R^2}\right]\right)^2+\tilde{\varphi}(r)\,, \tag{15}$$

Для квазипериодического ДОЭ, определяемого уравнениями (13) или (15), фазовая функция $\varphi_p(x)$ в уравнении (12) соответствует фокусировке в отрезок длиной $N(K)\Delta$, где $\Delta=2\lambda z_1K/R^2$ - размер дифракционного пятна, а

$$N(K)=\mathrm{int}\left[\frac{LR^2}{2\lambda z_1z_2K}\right] \tag{16}$$

Использование геометрооптического решения для $\varphi_p(x)$ в уравнении (12) возможно только для $N(K)$>>1 (т.е. для $N(K)$=10 или больше), что налагает ограничения на возможные значения K. При

$N(K)$=1-3 синтез квазипериодического ДОЭ становится невозможным даже с использованием итерационного расчета функции $\varphi_p(x)$ в уравнении (12).

Проанализируем уравнение (15). При $\tilde{\varphi}(r) \equiv 0$, фазовая функция (15) превращается в фазовую функцию многофокусной линзы [17,18] с количеством фокусов N, определяемым формулой (16). Координаты фокусов

$$F_i = z_1 \frac{R^2}{R^2 - 2i\lambda K z_1} \quad i = 0, 1, \ldots N \tag{17}$$

Таким образом, при $\tilde{\varphi}(r) \equiv 0$ распределение интенсивности на оптической оси соответствует N пикам с шириной соседних пиков в K раз меньшим, чем расстояние между соседними фокусами. При K=1 пики сливаются, образуя отрезок вдоль оптической оси. Аналогичным образом дифракционная решетка обеспечивает разбиение фокального изображения на набор точек только при числе периодов K>1. Функция $\tilde{\varphi}(r)$ в (13) соответствует введению сферической аберрации в (10) для фокусировки в отрезок (F_i, F_{i+1}). Это обеспечивает формирование непрерывного распределения интенсивности вдоль оптической оси при K>1.

Заметим, что проведенный анализ выполнен только для квазипериодических ДОЭ (13) или (15). Строгий вывод формы функции $\tilde{\varphi}(r)$ следует из формулы (7) и метода расчета квазипериодического ДОЭ [16], фокусирующего в поперечный отрезок.

Результаты численного моделирования

В этом разделе рассматривается численное исследование решений задачи фокусировки в продольный отрезок, полученных на основе геометрооптической функции (9) и квазипериодической функции (13).

Методы расчета ДОЭ, рассмотренные в предыдущем параграфе, направлены на создание требуемого распределения интенсивности на оптической оси и не управляют распределением в ε-окрестности оптической оси, что намного важнее для практического использования ДОЭ. В этой связи, чтобы охарактеризовать работу ДОЭ, будем применять следующие характеристики: среднеквадратичное отклонение δ полученного распределения от требуемого (СКО) и энергетическую эффективность E. Значение

$$\delta(\varepsilon) = \frac{1}{\overline{E}} \left[\frac{1}{(z_2 - z_1)} \int_{z_1}^{z_2} \left(E\,(z,\varepsilon) - \overline{E} \right)^2 dz \right]^{1/2}$$

где

$$\overline{E} = \frac{1}{(z_2 - z_1)} \int_{z_1}^{z_2} E(z,\varepsilon)\, dz, \quad E(z,\varepsilon) = 2\pi \int_0^{\varepsilon} I(r,z)\; r\, dr$$

характеризует среднеквадратичное отклонение осевого распределения энергии $E(z,\varepsilon)$ от среднего значения $\overline{E}(\varepsilon)$. Если $\varepsilon \to 0$, $\delta(\varepsilon)$ характеризует среднеквадратичное отклонение распределения интенсивности на оптической оси от среднего значения. Величина $E(z,\varepsilon)$ характеризует энергию, приходящую в ε-окрестность оптической оси с координатой z, в то время как значение

$$E(\varepsilon) = \overline{E}(\varepsilon) \Big/ \left(2\pi \int_0^R I_0(r)\, r\, dr \right)$$

характеризует среднюю долю энергии освещающего пучка, фокусируемую в поперечное сечение отрезка фокусировки с радиусом ε.

Левая часть таблицы 1 содержит рассчитанные значения $E(\varepsilon)$ и $\delta(\varepsilon)$ [ε=Δ, 2Δ и 3Δ, где $\Delta = 0{,}61 \cdot \lambda(z_1 + z_2)/(2R)$] для фокусатора с фазовой функцией (9), предназначенного для фокусировки плоского пучка в продольный отрезок с постоянным распределением интенсивности со следующими параметрами: λ=0,63мкм; z_1=320мм; z_2=360мм; R=15мм. Средняя часть таблицы 1 содержит аналогичные значения для "квазипериодического ДОЭ-1", а именно для ДОЭ с фазовой функцией (13) при K=2, 4. В правой части таблицы 1 расположены значения $E(\varepsilon)$ и $\delta(\varepsilon)$ для "квазипериодического ДОЭ-2" при K=2,4, рассчитанного с использованием квазипериодической функции φ_1 (x) (12). В этом случае функция φ_p (x) в (12) рассчитывалась с использованием адаптивной модификации алгоритма Герчберга-Секстона [7] с использованием в качестве начального приближения геометрооптической функции (9).

Таблица 1.

Энергетическая эффективность E(ε) и среднеквадратичное отклонение δ(ε) для фокусатора и для квазипериодических ДОЭ 1 и 2.

ε	Фокусатор		Квазипериодический ДОЭ-1				Квазипериодический ДОЭ-2			
			K=2		K=4		K=2		K=4	
	$\delta(\varepsilon)$%	$E(\varepsilon)$%	$\delta(\varepsilon)$%	$E(\varepsilon)$%	$\delta(\varepsilon)$%	$E(\varepsilon)$%	$\delta(\varepsilon)$%	$E(\varepsilon)$%	$\delta(\varepsilon)$%	$E(\varepsilon)$%
ε<<Δ	29,1	-	31,0	-	35,3	-	12,5	-	11,1	-
Δ	77,8	1,8	50,1	1,9	49,9	1,8	38,9	1,7	38,0	1,8
2Δ	65,6	3,6	50,8	3,7	53,3	3,7	44,6	3,3	42,9	3,6
3Δ	59,3	5,3	41,8	5,4	40,3	5,4	36,5	4,8	32,2	5,3

Анализ данных таблицы 1 показывает, что фокусатор (9) с осевой неравномерностью распределения интенсивности в 29% имеет значительную неравномерность распределения энергии от 77% до

59% для $\varepsilon=\Delta$, 2Δ и 3Δ соответственно. Для квазипериодического ДОЭ-1 неравномерность распределения интенсивности вдоль оптической оси больше и составляет 31% при K=2 и 35% при K=4. Большая неравномерность осевого распределения интенсивности для квазипериодического ДОЭ-1 обусловлена ростом погрешности геометрооптического решения (9) с увеличением K. В то же время неравномерность распределения энергии $E(z,\varepsilon)$ для квазипериодических ДОЭ в 1,4-1,6 раз меньше, чем для фокусаторов. Для квазипериодических ДОЭ-2 по сравнению с квазипериодическими ДОЭ-1 неравномерность распределения интенсивности вдоль оптической оси примерно в три раза меньше при значительно меньшем (в 1,2-1,3 раза) снижении неравномерности распределения энергии $E(z,\varepsilon)$. Энергетическая эффективность $E(\varepsilon)$ приблизительно одинакова для всех исследованных оптических элементов и лежит в пределах от 1,7% до 1,9% при $\varepsilon=\Delta$ и от 4,8% до 5,4% при $\varepsilon=3\Delta$.

На рисунках 2 - 4 приведены полутоновые распределения интенсивности $I(\rho,z)$ для фокусатора и квазипериодических ДОЭ 1 и 2 при K=4. Рис.2 демонстрирует значительное размывание поля в начале отрезка с энергией, в основном сконцентрированной в пределах фокального пятна шириной от $1{,}5\Delta - 2\Delta$ в начале отрезка до Δ в конце отрезка. Поля на рисунках 3 и 4 имеют периодическую структуру. Полученный результат соответствует анализу работы квазипериодического ДОЭ, приведенному выше (в предыдущем разделе).

При $\tilde{\varphi}(r)\equiv 0$ ДОЭ-1 с фазовой функцией (13) соответствует многофокусной линзе (см. Рис. 5). Функция $\tilde{\varphi}(r)$, уравнение (14), соответствует введению сферической аберрации и обеспечивает формирование структуры фокального поля близкой к структуре поля от фокусатора. Число периодов поля N обратно пропорционально K и определяется уравнением (16); при K=4 и исследуемых параметрах (Рис.2-5) N=16.

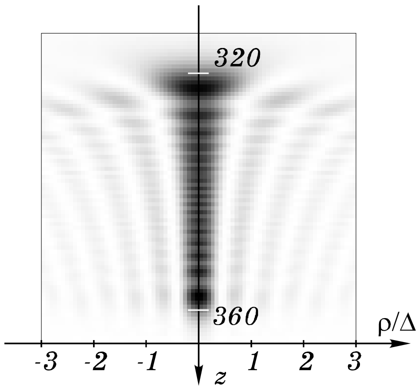

Рис.2. Полутоновое распределение интенсивности в меридиональном сечении (ρ,z) фокальной плоскости фокусатора с параметрами: λ =0,63 мкм, z1 =320 мм; z2 =360мм; R=15мм.

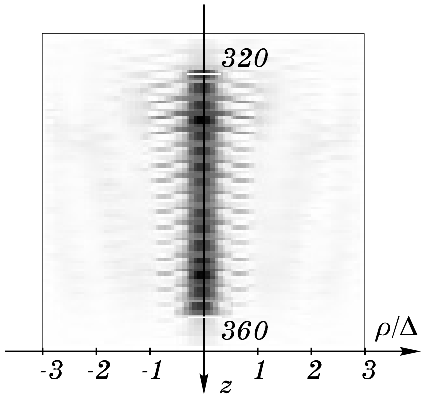

Рис.3. Полутоновое распределение интенсивности в меридиональном сечении (ρ,z) фокальной плоскости квазипериодического ДОЭ-1 с параметрами: λ=0,63 мкм, z_1 =320мм; z_2=360мм; **R=*15 мм;* K=*4.***

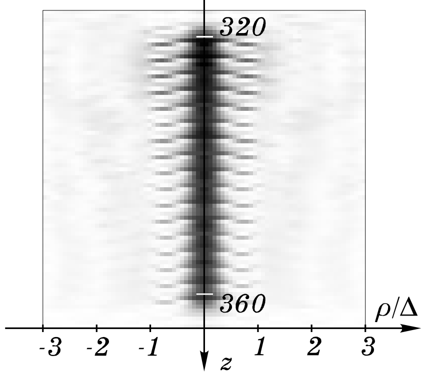

Рис.4. Полутоновое распределение интенсивности в меридиональном сечении (ρ,z) фокальной плоскости квазипериодического ДОЭ-2 с параметрами: λ=0,63 мкм, z_1=320мм; z_2 =360 мм; **R=*15 мм;* K=*4.***

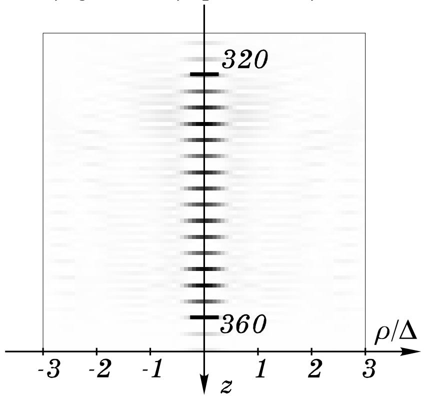

Рис.5. Полутоновое распределение интенсивности в меридиональном сечении (ρ,z) фокальной плоскости квазипериодического ДОЭ-1 (Рис.3) при $\tilde{\varphi}(r)$ ≡0 в уравнении (13).

Таким образом, значение K влияет на структуру поля, формируемую квазипериодическими ДОЭ. В то же время погрешность геометрооптического и итерационного расчета функции $\varphi_p(x)$ в (12) увеличивается с ростом K. Из сказанного следует, что значение K можно рассматривать как дополнительный оптимизационный параметр расчета ДОЭ, обеспечивающий возможность оптимизации $E(\varepsilon)$ и $\delta(\varepsilon)$ при заданном ε. Например, если $\varepsilon=2\Delta$, квазипериодический ДОЭ-1 обеспечивает более равномерное распределение энергии при K=2, чем при K=4. В то же время, если $\varepsilon = 3\Delta$, квазипериодический ДОЭ-2 дает более высокую эффективность при K=4, чем при K=2.

Заключение

Получены и проанализированы квазипериодические решения задачи фокусировки в продольный отрезок. Квазипериодический ДОЭ может рассматриваться как набор концентрических колец, каждое из которых формирует весь отрезок фокусировки.

Численные исследования продемонстрировали лучшие показатели фокусировки для квазипериодических ДОЭ по сравнению с фокусаторами. Аналитически рассчитанный квазипериодический ДОЭ-1 обеспечивает формирование распределения энергии в ε-окрестности отрезка оптической оси, которое в 1,4 - 1,5 раза равномернее аналогичного распределения для фокусаторов. Квазипериодический ДОЭ-2, рассчитанный с использованием итерационного алгоритма Герчберга-Секстона, обеспечивает дополнительное уменьшение неравномерности распределения энергии $E(z,\varepsilon)$ вдоль отрезка фокусировки в 1,2 - 1,3 раза по сравнению с ДОЭ-1.

Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственной научно-технической программы "Наукоемкие технологии" при поддержке Министерства науки и технической политики РФ. Авторы выражают благодарность А.Е. Царегородцеву, С.И.Харитонову, Я.Е. Тахтарову и С.В. Смагину за помощь в подготовке настоящей статьи.

Литература

1. Laser plasmasoptically pumped by focusing with axicon a CO_2-TEA laser beam in a high-pressure gas / Tremblay R., D'Astons Y., Roy G., Blanshard M. // Optics Communications. - 1979. - Vol.28, No 2. - P.193-196.
2. Brenden B.B., Russel J.T. Optical playback apparatus focusing system for producing a prescribed energy distribution along an axial focal zone // Applied Optics. - 1984. - Vol.23, No 19. - P.3250-3253.
3. Michaltsova I.A., Nalivaiko V.I., Soldatenkov I.S. Kinoform axicon // Optik. - 1984. - Vol.67, No 3. - P.267-270.
4. Пальчикова И.Г. Киноформные оптические элементы с увеличенной глубиной фокуса // Компьютерная оптика. - М.: МЦНТИ, 1989. - Вып.6. - С.9-19.
5. Фокусировка когерентного излучения в заданную область пространства с помощью синтезированных на ЭВМ голограмм / Голуб М.А., Карпеев С.В., Прохоров А.М., Сисакян И.Н., Сойфер В.А. // Письма в ЖТФ. - 1981. - Т.7, вып.10. - С.618-623.
6. Вычислительный эксперимент с элементами плоской оптики / Голуб М.А., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Сойфер В.А. // Автометрия. - 1988. - No 1. - С. 70-82.
7. Khonina S.N., Kotlyar V.V., Soifer V.A. Calculation of the focusators into a longitudinal line-segment and study of a focal area // Journal of Modern Optics. - 1993. - Vol.40. - P.761-769.
8. Борн М., Вольф Э. Основы оптики.- М.: Наука, 1973. - 720 с.
9. Kathuria Y.P. Computer modeling of three-dimensional Fresnel-diffraction pattern at circular, rectangular and square apertures // Optica Applicata. - 1984. - Vol. 14, No 4. - P.509-514.
10. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции (формулы, графики, таблицы). - М.: Наука. - 1968. - 344с.
11. Golub M.A., Sisakian I.N., Soifer V.A. Infrared radiation focusators // Optics and Lasers in Engineering. - 1991. - Vol.15, No 5. - P.297-309.
12. Метод согласованных прямоугольников для расчета фокусаторов в плоскую область / Голуб М.А., Досколович Л.Л., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Сойфер В.А., Харитонов С.И. // Компьютерная оптика. - М.: МЦНТИ, 1992. - Вып.10-11. - С.100-110.
13. Gerchberg R.W., Saxton W.D. A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane pictures // Optik. - 1972. - Vol.35. - P.237-246.
14. Fienup J.R. Iterative method applied to image reconstruction and to computer-generated holograms // // Optical Engineering, 1980. - Vol.19. - P.297-303.
15. Kotlyar V.V., Nikolsky I.V., Soifer V.A. Adaptive iterative algorithm for focusators synthesis // Optik. - 1991. - Vol.88, No 1. - P.17-19.
16. Березный А.Е. Квазипериодические оптические элементы // Компьютерная оптика. - М.: МЦНТИ, 1989. - Вып.6. - С.19-23.
17. Computer generated diffractive multi-focal lens / Golub M.A., Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Kharitonov S.I., Soifer V.A. // Journal of Modern Optics. - 1992. - Vol.39, No 6. - P.1245-1251.
18. Special diffractive lenses / Doskolovich L.L., Golub M.A., Kazanskiy N.L., Soifer V.A., Usplenjev G.V. // Proceedings SPIE. - 1993. - Vol.1780. - P.393-402.

Analysis of quasiperiodic and geometric optical solutions of the problem of focusing into an axial segment

L.L. Doskolovich, N.L. Kazansky, V.A. Soifer

Abstract

In this paper, we propose analytical and iterative methods for the design of new "quasiperiodic" DOEs focusing a beam into a segment of an optical axis. On the basis of a computational experiment, a comparative analysis of the efficiency of quasiperiodic and geometric solutions of the problem of focusing into an axial segment is performed.

Citation: Doskolovich LL, Kazansky NL, Soifer VA. Analysis of quasiperiodic and geometric optical solutions of the problem of focusing into an axial segment. Computer Optics 1996; 16: 4-8.

References

[1] Tremblay R, D'Astons Y, Roy G, Blanshard M. Laser plasmasoptically pumped by focusing with axicon a CO2-TEA laser beam in a high-pressure gas. Optics Communications; 1979; 28(2): 193-196.
[2] Brenden BB, Russel JT. Optical playback apparatus focusing system for producing a prescribed energy distribution along an axial focal zone. Applied Optics; 1984; 23(19): 3250-3253.
[3] Michaltsova IA, Nalivaiko VI, Soldatenkov IS. Kinoform axicon; Optik; 1984; 67(3): 267-270.
[4] Palchikova IG. Kinoforms with increased depth of focus. Computer Optics; Moscow: ICSTI; 1989; 6: 9-19.
[5] Golub MA, Karpeev SV, Prokhorov AM, Sisakyan IN, Soifer VA. Focusing coherent radiation in a given region of space with the help of computer generated holograms. Sov. Tech. Phys. Lett.; 1981; 7(10): 618-623.
[6] Golub MA, Kazansky NL, Sisakyan IN, Soifer VA. Computational experiment with plane optical elements. Avtometriya; 1988; 1: 70-82.
[7] Khonina SN, Kotlyar VV, Soifer VA. Calculation of the focusators into a longitudinal line-segment and study of a focal area. Journal of Modern Optics; 1993; 40: 761-769.
[8] Born M, Wolf E. Basics of optics; Moscow: Nauka Publisher; 1973.
[9] Kathuria YP. Computer modeling of threedimensional Fresnel-diffraction pattern at circular, rectangular and square apertures. Optica Applicata; 1984; 14(4): 509-514.
[10] Yamke E, Emde F, Lesh F. Special Functions (Formulas, Graphs, Tables); Moscow: Nauka Publisher; 1968: 344.
[11] Golub MA, Sisakyan IN, Soifer VA. Infra-red radiation focusators. Optics and lasers in engineering; 1991; 15(5): 297-309.
[12] Golub MA, Doskolovich LL, Kazansky NL, Sisakyan IN, Soifer VA, Kharitonov SI. Method of matched rectangles for designing focusators to flat areas. Computer optics; Moscow: ICSTI; 1992; 10-11: 100-110.
[13] Gerchberg RW, Saxton WD. A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane pictures. Optik; 1972; 35: 237-246.
[14] Fienup JR. Iterative method applied to image reconstruction and to computer-generated holograms. Optical Engineering; 1980; 19: 297-303.
[15] Kotlyar VV, Nikolsky IV, Soifer VA. Adaptive iterative algorithm for focusators synthesis. Optik; 1991; 88(1): 17-19.
[16] Berezny AE. Quasiperiodic optical elements. Computer optics; Moscow: ICSTI; 1989; 6: 19-23.
[17] Golub MA, Doskolovich LL, Kazansky NL, Kharitonov SI, Soifer VA. Computer generated diffractive multi-focal lens. J.Mod.Opt.; 1992; 39(6): 1245-1251.
[18] Doskolovich LL, Golub MA, Kazansky NL, Soifer VA, Uspleniev GV. Special diffractive lenses. SPIE Proceedings; 1993; 1780: 393-402.