

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАПИСИ ВОЛНОВОДНЫХ ФОКУСИРУЮЩИХ РЕШЕТОК

А.С. Баблумян, В.Н. Морозов, А.Н. Путилин, Т.Д. Шермергор

УДК 621.372.8:535.1

Голографическим способом записывались дифракционные решетки, работающие в режиме интегрально-оптического фокусирующего ответвителя. Теоретически и экспериментально показана возможность работы решеток при большой величине относительного отверстия. Достигнут размер фокального пятна в дифрагированном пучке ~ 10 мкм при эффективности перекачки 95%.

Для создания пассивных интегрально-оптических (ИО) элементов широко используются дифракционные решетки (ДР), сформированные на поверхности планарных волноводов. Известно, что аперриодические решетки с искривленными штрихами могут работать в режиме ввода — вывода фокусированного излучения из волновода /1/, а также направленной фокусировки волноводной моды /2/. Фокусирующие свойства таких ДР ограничены областью параксиальных углов относительно направления распространения дифрагированного пучка. На практике часто возникает необходимость их использования в области больших апертурных углов, где должны возникать аберрации. Кроме того, представляет интерес разработка голографического способа записи фокусирующих решеток, работающих в режиме двумерной волноводной дифракции, который еще не применялся для их изготовления.

Настоящая работа посвящена получению таких решеток с использованием различных голографических схем записи и исследованию возможностей увеличения их числовой апертуры, в пределах которой дифрагированный пучок можно считать стигматическим.

Как известно /2/, ДР, работающие в режиме направленной фокусировки волноводной моды, описываются выражением

$$Y = X^2 n_{ef} / 2l \lambda_B - l \lambda_B / 2n_{ef}, \quad (1)$$

где λ_B — длина волны на этапе восстановления; $l = 1, 2, \dots$; n_{ef} — эффективный показатель преломления взаимодействующих пучков.

Используя интерференционную картину (ИК) конусоидальной и плоской волн, всегда можно подобрать геометрию записываемых пучков и сориентировать соответствующим образом плоскость записи так, чтобы в сечении данной ИК получить семейство кривых в виде (1) для произвольной длины волны восстанавливающего пучка.

Пусть $E_{1,2}(x, y, z) \propto \exp[ikL_{1,2}(x, y, z)]$ — опорный и объектный пучки, имеющие соответственно плоский и конусоидальный волновые фронты:

$$\varphi_1 = kL_1(x, y, z) = [A_1x + A_2y + A_3z + C_1]k;$$

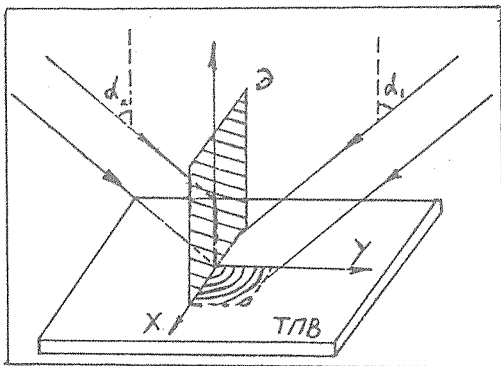
$$\varphi_2 = kL_2(x, y, z) = [A_4(x^2 + y^2)^{1/2} + A_5z + C_2]k,$$

где A_i — направляющие косинусы лучевых векторов пучков.

Однопараметрическое семейство изофот, зависящее от $l = 0, 1, 2, \dots$ в этом случае будет описываться уравнением:

$$k^{-1} \Delta\varphi = A_4[(x^2 + y^2)^{1/2} - y] - (A_2 - A_4)y - A_1x + (A_5 - A_3)z = l\lambda_3. \quad (2)$$

Для того, чтобы выражения (1) и (2) описывали одни и те же кривые, необходимо соответствие углов падения записываемых пучков α_1 и α_2 условиям: $A_2 = A_4$; $A_1 = 0$; $(A_5 - A_3)z = \text{const}$ и ориентировка фокальной линии объектной волны перпендикулярно плоскости записи (рис. 1).



Р и с. 1. Схема записи фокусирующих решеток; Э — экран с щелью, формирующей конусоидальный волновой фронт; $z = 0$ — плоскость волновода

На рисунке также представлен один из способов формирования конусоидального волнового фронта. Такой фронт образуется в результате дифрак-

ции плоской волны на прямолинейной щели в непрозрачном экране, расположенной в плоскости падения волны на экран. В соответствии с принципом Гюйгенса волновой фронт на выходе щели представляет собой огибающую вторичных сферических волн, центры которых находятся на щели, причем фаза каждого из них, как видно из рисунка, изменяется линейно: $\varphi(z_0) = kz_0 \sin \alpha_1 + \varphi_0$. Волновой фронт, создаваемый каждой точкой щели, описывается однопараметрическим семейством сфер, зависящим от z_0 :

$$\varphi_k/k = [x^2 + y^2 + (z - z_0)^2]^{1/2} - z_0 \sin \alpha_1 + C = 0.$$

Огибающую этого семейства ищем в виде решения системы

$\varphi(x, y, z, z_0) = 0$, $\varphi'_{z_0}(x, y, z, z_0) = 0$. После очевидных преобразований получим искомую поверхность $\varphi_k/k = (x^2 + y^2)^{1/2} \cos \alpha_1 - z \sin \alpha_1 + C = 0$, которая представляет собой поверхность кругового конуса с осью, совпадающей с осью z и углом $2\alpha_1$ при вершине.

ДР записывались на длине волны $\lambda_3 = 0,44$ мкм по схеме, представленной на рис. 1, а также для сравнения по схемам с использованием в качестве объектных пучков цилиндрической и сферической волн. При этом во всех схемах ориентация осей записываемых пучков и расстояние точки фокусировки объектного пучка от плоскости записи выбирались одинаковыми. На рис. 2 приведены зависимости поперечного размера восстановленного волноводного пучка в минимальном сечении его каустики от линейной апертуры ДР. Видно, что пологие участки графиков в первом и во втором случаях ограничены значениями числовой апертуры соответственно 1/15 и 1/9, в треть-

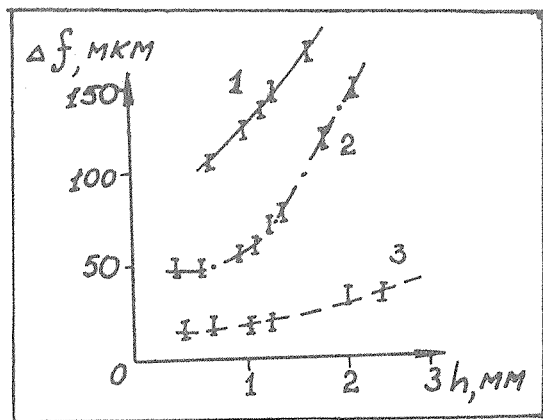


Рис. 2. Графики зависимости размера фокального пятна восстановленного волноводного пучка от линейной апертуры ДР при записи решетки цилиндрической (1), сферической (2) и конусоидальной (3) объектными волнами

ем же случае рассматриваемые параметры оказываются практически независимыми, что соответствует близости геометрии записанной решетки ее точной форме (1).



Р и с. 3. Фотографии треков восстанавливающего плоского и восстановленного фокусированного волноводных пучков, взаимодействующих на ДР, записанных с помощью цилиндрической (а), сферической (б), конусоидальной (в) объектных волн

На рис. 3 представлены фотографии волноводных треков восстанавливающего плоского и восстанавливаемого фокусированного пучков, взаимодействующих на ДР, записанных с помощью цилиндрической, сферической и конусоидальной объектных волн.

Во всех трех случаях фокусное расстояние ДР составляло 0,5 см; взаимодействующие пучки распространялись на нулевой моде волновода с $n_{ef} = 1,58$ на длине волны $\lambda_B = 0,63$ мкм. В последнем случае размер фокального пятна в дифрагированном пучке составлял 12 мкм при эффективности перекачки 95% и относительном отверстии 1/3.

В заключение отметим, что фокальное пятно можно уменьшить, используя щель, формирующую конусоидальную волну меньших поперечных размеров

(размер щели, используемый в настоящей работе, составлял 10 мкм).

Поступила в редакцию 18 июля 1984 г

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Miler, M. Skalsky. *Electron. Lett.*, **15**, 275 (1979).
2. Z-Q. Lin, S.-T. Zhou, W. Chang, *IEEE Trans. on MW Theory and Techn.*
MTT-29, 881 (1981).