

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОПЛЕНЧОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С ПЛОСКОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ

А. С. Кузали и А. В. Чекан

Приводятся результаты экспериментальных исследований полей излучения в ближней и в дальней зонах, а также спектроскопических характеристик тонкопленочного волновода из полистирола с плоской дифракционной решеткой, нанесенной на поверхность подложки. Обсуждаются пути повышения разрешающей способности системы.

Тонкопленочный оптический волновод с устройством вывода излучения может обладать весьма высокой дисперсией. В связи с этим он может быть использован в качестве диспергирующего элемента спектроанализаторов [1, 2].

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований полей излучения в ближней и в дальней зонах, а также спектроскопических характеристик тонкопленочного волновода из полистирола с плоской дифракционной решеткой, нанесенной на поверхность подложки.

Разрешающая способность тонкопленочного волновода с дифракционной решеткой как многолучевого спектроанализатора равна [1] $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{\theta}{\Delta\varphi}$, где λ — длина волны, $\Delta\varphi = \lambda/L_{\text{эфф.}} \cos \varphi$ — ширина диаграммы направленности, φ — угол излучения, $L_{\text{эфф.}} = L/a$ — эффективная длина апертуры решетки, $a \geq 1$ — коэффициент расширения луча. Относительная угловая дисперсия $\Theta = -\lambda d\varphi/d\lambda = (\gamma_{\text{гр.}} - \sin \varphi)/\cos \varphi$ определяется дисперсией тонкопленочного волновода и решетки и характеризует зависимость направления излучения от относительного изменения длины волны ($\gamma_{\text{гр.}}$ — замедление групповой скорости в волноводе).

Таким образом, разрешающая способность зависит как от эффективной длины излучающей апертуры решетки, так и от дисперсии системы.

Уменьшение эффективной длины апертуры решетки по сравнению с ее геометрической длиной L , а следовательно, и расширение диаграммы направленности могут быть вызваны отклонением от равномерного амплитудного распределения на поверхности решетки за счет рассеяния и тепловых потерь в волноводе, а также за счет излучения решетки. При экспоненциальном распределении поля $\exp(-\beta x)$ на излучающей поверхности и достаточной длинной системе ($\beta L \gg 1$) ширина диаграммы направленности по уровню половинной мощности равна [3] $\Delta\varphi = \beta\lambda/\pi \cos \varphi$. Это выражение является достаточно точным уже при $\beta L = 3.5$, когда до конца решетки доходит 0.1% мощности. В этом случае, $L_{\text{эфф.}} = \pi/\beta$.

Кроме указанных причин, расширение диаграммы направленности может быть вызвано отклонением фазового распределения на поверхности решетки от линейного за счет, например, непостоянства толщины несущего слоя.

Экспериментальная установка для исследования полей излучения в ближней и в дальней зонах показана на рис. 1. Исследуемый волновод

был образован пленкой 2 толщиной h из полистирола (показатель преломления $n_2 \sim 1.59$ на $\lambda=0.6328$ мкм), нанесенной на стеклянную подложку 1 ($n_1 \sim 1.51$). Дифракционная решетка 5 наносилась на подложку голографическим способом. Толщина волновода составляла $h=0.665$ мкм, что

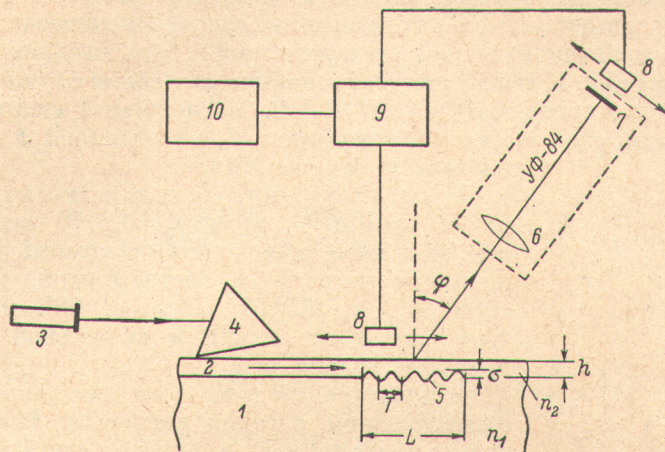


Рис. 1.

позволяло возбуждать типы волн TE_0 и TM_0 . Все измерения проводились для волны TE_0 . Источником излучения 3 служил гелий-неоновый лазер ЛГ-56. Излучение от лазера с помощью вводной призмы 4 возбуждало волноводную волну, которая, распространяясь по волноводу, излучалась на решетке, образуя между направлением главного максимума и нормалью к поверхности решетки угол $\varphi=29^\circ 01'$. Период решетки составлял $T=0.6$ мкм, а глубина модуляции $\sigma \sim 25 \text{ \AA}$. Вводная призма была изготовлена из стекла ТФ-3. Диаграмма направленности излучения решетки формировалась в фокальной плоскости линзы 6 ($F=800$ мм) камеры УФ-84. Регистрирующая часть включала в себя фотоприемник 8, установленный на подвижной платформе, усилитель постоянного тока 9 и самописец 10.

На рис. 2, а показано распределение вдоль поверхности ближнего поля излучения системы, измеренного на расстоянии 0.5 мм от поверхности волновода. Видно, что распределение поля вдоль излучающей поверхности решетки имеет характер, близкий к экспоненциальному. Вычисленное по ближнему полю значение коэффициента затухания β примерно равно 10 дБ/см. Рассчитанная с учетом этого значения β ширина диаграммы направленности $\Delta\varphi \sim 11''$.

В исследованной системе основной вклад в затухание вносит излучение решетки. Измерения показали, что затухание за счет тепловых потерь и потерь на рассеяние примерно равно 0.5 дБ/см.

Распределение интенсивности в дальней зоне, соответствующее ближнему полю (рис. 2, а), показано на рис. 2, б. Ширина диаграммы направленности $\Delta\varphi=37''$.

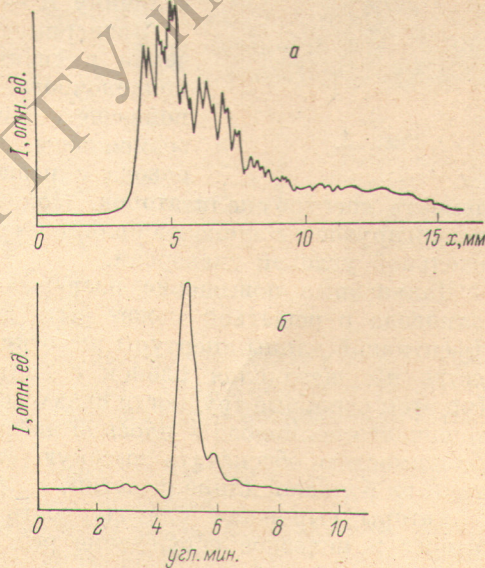


Рис. 2.

Отметим, что измеренная ширина диаграммы направленности превышает рассчитанную по амплитудным измерениям ближнего поля более чем в 3 раза. Обнаруженное расширение диаграммы направленности, по-видимому, вызвано наличием в ближнем поле фазовых ошибок, связанных с неточностями изготовления исследованной системы.

При экспериментальном исследовании спектроскопических характеристик тонкопленочного волновода с решеткой использовалась установка, показанная на рис. 1, где в качестве источника излучения служила ртутная лампа сверхвысокого давления ДРШ-250. Исследуемый спектр ртутной лампы регистрировался на фотопластинке 7, помещенной в фокальной плоскости камеры УФ-84.

Углы излучения главных максимумов линий ртути $\lambda_1=0.5790$ мкм, $\lambda_2=0.5770$ мкм и $\lambda_3=0.5460$ мкм, измеренные с помощью гониометра-спектрометра ГС-5, соответственно равны $\varphi_1=35^\circ 41'$, $\varphi_2=35^\circ 57'$ и $\varphi_3=40^\circ 08'$. Фотография трех указанных линий в фокальной плоскости показана на рис. 3.

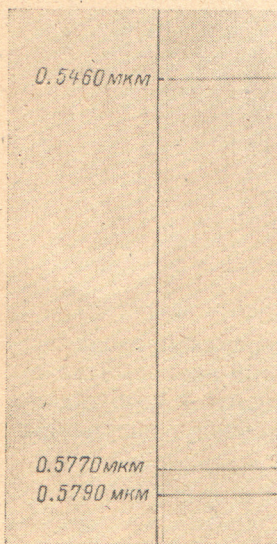


Рис. 3.

В исследуемом диапазоне длин волн значения относительной угловой дисперсии Θ превышают единицу. Например, в окрестности длины волны $\lambda=0.6$ мкм и $\varphi \sim 30^\circ$, $\Theta \sim 1.4$. Значение разрешающей способности тонкопленочного волновода с плоской дифракционной решеткой, полученное как отношение относительной угловой дисперсии Θ к ширине диаграммы направленности $\Delta\varphi$ на $\lambda=0.6328$ мкм, составило в наших экспериментах величину $R \sim 10^4$.

Экспериментальное исследование полей излучения и спектроскопических характеристик тонкопленочного волновода с плоской дифракционной решеткой подтвердили отмеченную в работе [1] возможность использования тонкопленочного волновода с решеткой в качестве диспергирующего

элемента спектроанализаторов. Положительной особенностью подобного диспергирующего элемента является сравнительно большое значение относительной угловой дисперсии.

Дальнейшее повышение разрешающей способности тонкопленочного волновода с решеткой может быть достигнуто как за счет увеличения эффективной длины апертуры решетки, так и за счет использования в качестве несущего слоя пленок с большими показателями преломления. При этом основные трудности связаны с технологией изготовления тонкопленочного волновода и плоской дифракционной решетки, а именно с необходимостью обеспечить высокую степень постоянства параметров системы на большой длине решетки, а также малый коэффициент излучения.

Авторы выражают благодарность Л. Н. Дерюгину за постоянный интерес и полезное обсуждение результатов работы.

Литература

- [1] Л. Н. Дерюгин, А. С. Кузали, А. В. Чекаев. Опт. и спектр., 41, 470, 1976.
- [2] А. С. Кузали, А. В. Чекаев. Квантовая электроника, 3, 2457, 1976.
- [3] Л. Н. Дерюгин, А. Н. Марчук, В. Е. Сотин. Изв. вузов, радиоэлектроника, 13, 309, 1970.

Поступило в Редакцию 9 ноября 1976 г.