

ПРОСТОЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ СО СТУПЕНЧАТЫМ ВИДОМ ПРОФИЛЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Э. А. АРУТЮНЯН, С. Х. ГАЛОЯН, С. П. ПОГОСЯН

Институт физических исследований АН АрмССР

(Поступила в редакцию 6 июня 1986 г.)

Предложен простой способ определения параметров двухмодовых тонкопленочных оптических волноводов, который одновременно обеспечивает достаточную для практических задач точность применительно к волноводам такого типа с большим числом резонансных мод.

Оптимизация режима работы технологической цепи изготовления различных устройств интегральной оптики с заданными характеристиками требует разработки методов быстрой и точной оценки параметров основного элемента всех оптических интегральных схем — планарного волновода. Ряд основных способов получения оптических волноводов, такие как высокочастотное и ионное распыление, эпитаксиальное выращивание и, в некотором приближении, ионное облучение обеспечивают однородность распределения показателя преломления в поперечной плоскости волновода. Этим обстоятельством и обусловлен поиск быстрых методов определения параметров тонкопленочных оптических волноводов с достаточной для практических целей точностью расчетов.

В работе [1] было получено приближенное аналитическое выражение для показателя преломления тонкопленочного волновода n_f , в то время как толщина пленки h и показатель преломления подложки n_s определялись из дисперсионных уравнений методом последовательных приближений. Однако для обеспечения экспресс-контроля параметров тонкопленочных волноводов необходимо получить простые аналитические выражения также для параметров h и n_s . Особо отметим, что в способе определения параметров волновода работы [1] точность расчета величин h и n_s прямо зависит от точности нахождения параметра n_f , поэтому улучшение точности расчета величины n_f имеет принципиально важное значение. Решению этих задач, для разработки простого метода расчета параметров оптических тонкопленочных волноводов, посвящена настоящая работа.

Исходным уравнением является дисперсионное соотношение тонкопленочного оптического волновода [2]:

$$k h n_{fm} = \arctg \left(\frac{n_{mc}}{n_{fm}} \right) + \arctg \left(\frac{n_{ms}}{n_{fm}} \right) + m \pi, \quad (1)$$

где принято обозначение: $n_{ij} = (n_i^2 - n_j^2)^{1/2}$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ — длина волны света в вакууме, $m = 0, 1, 2, \dots (M-1)$, M — число мод в волноводе. Воспользуемся также основными приближениями работы [1]:

$$\Phi_{cm} = \arctg \left(\frac{n_{mc}}{n_{fm}} \right) \approx \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

и

$$n_{fo}^2 \approx n_{(M-1),s}^2.$$

Из системы (1) с учетом этих приближений для мод волновода с $m = 0$ и $m = M-1$ получим

$$\gamma = \frac{\frac{\pi}{2} + \pi(M-1) + \arctg \frac{1}{\gamma}}{\frac{\pi}{2} + \arctg \gamma}, \quad (3)$$

где

$$\gamma = \frac{n_{f,(M-1)}}{n_{fo}}. \quad (4)$$

Из (4) находим выражение для параметра n_f ,

$$n_f = \left(\frac{\gamma^2 n_0^2 - n_{M-1}^2}{\gamma^2 - 1} \right)^{1/2}. \quad (5)$$

Отметим, что уравнение (3) позволяет определить более точную величину γ по сравнению с аналогичным расчетом работы [1]. Поэтому с помощью формулы (5) можно получить более прецизионные значения для параметра n_f , что и подтверждается расчетами. Приведем значения γ для двух-, трех- и четырехмодовых волноводов: $\gamma_2 = 1,945169$, $\gamma_3 = 2,91191$, $\gamma_4 = 3,89163$.

Получим также аналитические выражения для быстрого расчета параметров n_s и h . Из соотношения (2) имеем

$$n_s = \left(\frac{\gamma^2 n_{M-1}^2 - n_0^2}{\gamma^2 - 1} \right)^{1/2}, \quad (6)$$

а из дисперсионного уравнения (1) для моды $m = 0$ получим

$$h = \frac{\arctg \left(\frac{n_{oc}}{n_{fo}} \right) + \arctg \gamma}{k n_{fo}}. \quad (7)$$

Данные, приведенные в таблице, определяют границы применимости формул (5—7).

В заключение приведем основные выводы работы. Предлагаемый метод расчета является наиболее эффективным для быстрого и точного

определения параметров двухмодовых тонкопленочных оптических волноводов по формулам (5—7). Для многомодовых волноводов с $M \geq 2$ результаты расчета позволяют сделать практические рекомендации. Быстрая оценка параметров n_f , n_s и h многомодовых волноводов также проводится с помощью формул (5), (6) и (7), тогда как для более точного расчета

Точные значения параметров тонкопленочных волноводов (n_f , n_s , h)	Эффективные показатели преломления (n_m)	Значения параметров волноводов, рассчитанные по методу данной работы
$n_f=1,83000$	$n_0=1,82191$	$n_f=1,83003$
$n_s=1,79000$	$n_1=1,7991$	$n_s=1,79083$
$h=1,50000$		$h=1,49334$
$n_f=1,83034$	$n_0=1,82584$	$n_f=1,83036$
$n_s=1,78561$	$n_1=1,81253$	$n_s=1,78702$
$h=2,14700$	$n_2=1,79164$	$h=2,13527$

этих параметров целесообразно предложить следующую процедуру: параметр n_f определить по формуле (5) настоящей работы, а расчет параметров n_s и h проводить методом последовательных приближений, описанный в работе [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян Э. А., Галоян С. Х., Погосян С. П. Письма в ЖТФ, 14, 1698 (1988).
2. Интегральная оптика /Под ред. Т. Тамира, М., Мир., 1973, 344 с.

ԲԵՆԿՐԱՆ ՑՈՒՑԻՉԻ ԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ՊՐՈՑԵԴՈՐ ՈՒՆԵՑՈՂ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԱՆԻՔԱՏԱՐՆԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՀԱՇՎՄԱՆ ՊԱՐԶ ԵՂԱՆԱԿ

Է. Ա. ՀԱՐՈՒԹՑՈՒՆՅԱՆ, Ս. Խ. ԳԱԼՈՅԱՆ, Ս. Պ. ՊՈԳՍՅԱՆ

Առաջարկված է երկմոդային նրբաթիթեղ օպտիկական ալիքատարների պարամետրերի հաշվման պարզ եղանակ, որը բազմամոդ ալիքատարների դեպքում ևս ապահովում է գործնական խնդիրների համար բավարար ճշտությամբ:

A SIMPLE METHOD FOR THE DETERMINATION OF PARAMETERS OF OPTICAL WAVEGUIDES WITH STEP PROFILE OF INDEX OF REFRACTION

E. A. ARUTYUNYAN, S. KH. GALOYAN, S. E. POGOSYAN

A simple method is proposed for the determination of parameters of two-mode thin-layer optical waveguides, which provides sufficient accuracy for practical purposes when applied to such waveguides with large number of resonance modes.