

06.3; 07

© 1991

## ПАРАМЕТРЫ ИОНООБМЕННЫХ ПЛАНАРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ В СТЕКЛЕ К8

А.В. Т о м о в

Одним из перспективных методов получения оптических волноводов, широко используемых в качестве пассивных элементов интегрально-оптических устройств, является метод ионного обмена из расплава  $AgNO_3 : NaNO_3$  малых (0.3–2.5 мол. %)  $AgNO_3$  концентраций  $C$  в стекло К8, обладающее высшим классом однородности по показателю преломления [1]. Получаемые при этом волноводы характеризуются достаточно большим (0.024–0.051) диапазоном изменения скачка показателя преломления  $\Delta n_{max}$  и малыми оптическими потерями (менее 0.5 дБ/см).

Для создания интегрально-оптических устройств необходимо знать профиль показателя преломления  $\Delta n(x)$  используемых волноводов, который определяет волноводные характеристики. Предполагая линейную зависимость между изменением показателя преломления и концентрацией серебра и ионнообменном слое, вид профиля  $\Delta n(x)$  можно найти из уравнения диффузии [2]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D(N) \frac{\partial N}{\partial x} \right], \quad (1)$$

где  $N$  – концентрация ионов диффузанта в стекле,  $D(x)$  – коэффициент взаимодиффузии, вид зависимости которого от концентрации  $N$  в случае обмена между парой катионов (в однощелочных стеклах) хорошо известен [2]. Стекло К8 является двущелочным, в процессе обмена в нем происходит замещение ионами серебра как ионов натрия, так и ионов калия. В этом случае вид зависимости  $D(N)$  не определен, что не позволяет использовать уравнение (1) для расчетов параметров получаемых волноводов.

В данной работе предлагается метод прогнозирования параметров планарных волноводов, сформированных в стекле К8 указанным выше способом.

В процессе исследования волноводов, получаемых при различных временах обмена и концентрациях расплава, было установлено, что их спектры мод практически эквидистантны, за исключением одной-двух мод на краях спектра. Согласно [3], это означает, что соответствующая часть профиля  $\Delta n(x)$  этих волноводов хорошо описывается параболой, параметры которой можно определить, используя решение дисперсионного уравнения для асимметричного параболического профиля. Подставив в формулу Монгано–Больцмана [4]

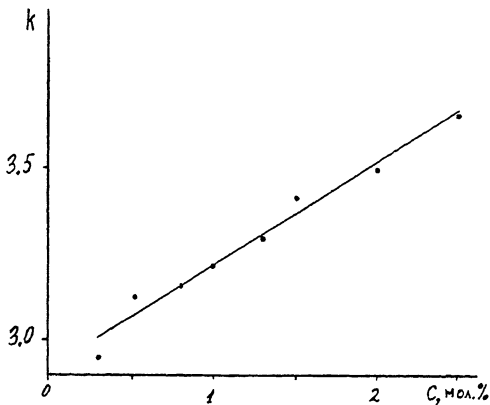


Рис. 1. Зависимость параметра  $K$  от концентрации расплава.

полученное выражение для параболы, можно рассчитать вид зависимости  $D(N)$ .

Проведенные на основе экспериментальных данных для нескольких концентраций  $C$  из указанного выше интервала расчеты показали, что в этом интервале зависимость  $D(N)$  можно аппроксимировать экспоненциальной функцией вида

$$D = D_0 \cdot \exp(k \cdot N), \quad (2)$$

где  $k = \ln D_{max} - \ln D_0$ ,  $D_{max}$  и  $D_0$  — наибольший (для данной концентрации расплава) и наименьший коэффициенты диффузии, величины которых определялись из графиков зависимостей  $\ln D(\Delta n)$ .

При этом зависимость параметра  $k$  от концентрации  $C$  (рис. 1) в интервале 0.3–2.5 мол. % и температуре проведения процесса ионного обмена  $350^\circ\text{C}$  достаточно хорошо аппроксимируется при помощи метода наименьших квадратов линейной функцией:

$$k \approx 2.9 + 0.3 \cdot C \text{ мол.} \% , \quad (3)$$

а среднее значение коэффициента диффузии  $\bar{D}_0$  равняется  $(1.1 \pm 0.1) \cdot 10^{-16} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$ . Таким образом, подставив  $\bar{D}_0$  и значение параметра  $k$ , рассчитанное по формуле (3), в (2) и (1), можно численно рассчитать с учетом сделанных предположений профиль  $\Delta n(x)$  (рис. 2), а затем и соответствующий ему спектр мод волновода.

Спектры мод рассчитывались с помощью рекуррентных соотношений в рамках метода стратификации [5]. Сравнение рассчитанных спектров мод волноводов с реальными проводилось для концентраций  $C$ , не использовавшихся при построении зависимости (3) (см. рис. 1) и определений величины  $\bar{D}_0$ . При этом отклонение расчетных значений эффективного показателя преломления от

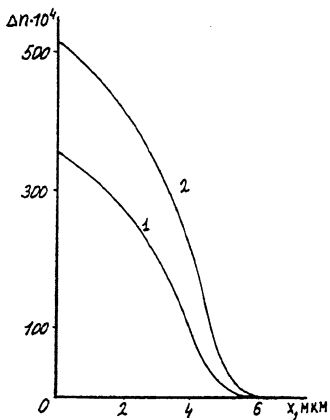


Рис. 2. Профили показателя преломления волноводов ( $\lambda = 0.4416$ ). Длительность процесса ионного обмена — 2 часа. 1 —  $C = 0.5$  мол. %, 2 —  $C = 1.5$  мол. %.

экспериментальных не превышало 4% по отношению к  $\Delta n_{max}$ , а для нулевых мод эта величина не превышала 1%.

Таким образом, полученные в работе соотношения позволяют рассчитать профиль показателя преломления и волноводные характеристики пла-

нарных волноводов, получаемых в стекле К8 методом ионного обмена из расплава  $AgNO_3 - NaNO_3$  в указанном интервале концентраций  $C$  с достаточно высокой точностью и могут быть использованы для расчетов сложных волноводных структур и явлений, возникающих при распространении света в этих структурах.

В заключение автор благодарит Войтенкова А.И. за полезные советы при обсуждении результатов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] ГОСТ 2336-78. Стекло оптическое бесцветное. Параметры и характеристики. М., 1978.
- [2] Stewart G. et al. // IEEE J. Quant. Electr. 1977. V. 13. No 4. P. 192-200.
- [3] Интегральная оптика / Под ред. Т. Тамира. М., 1978. 344 с.
- [4] Болгакс Б.И. Диффузия в полупроводниках. М.: ГИФМЛ, 1961. 462 с.
- [5] Согский А.Б., Согская Л.И., Столяров Ю.Д. // Радиотехника и электроника. 1989. Т. 34. № 6. С. 1158-1165.

Могилевское отделение  
Института физики  
АН БССР

Поступило в редакцию  
10 июня 1991 г.