

07;12
©1995

ДИФФУЗИОННЫЕ ВОЛНОВОДЫ В ПОЛИКАРБОНАТЕ

А.В.Томов

Легированные изокрасителями полимерные тонкие пленки и волноводы являются перспективными для использования в объемных и планарных устройствах обработки оптической информации, использующих нелинейность третьего порядка [1,2]. Известно [3], что такие волноводы можно получить диффузией некоторых красителей в полимерные подложки из поликарбоната, который, являясь сильноосшитым полимером, значительно улучшает их механические свойства и устойчивость к воздействию окружающей среды. Важной задачей является расширение класса красителей, которые можно ввести в поликарбонат этим методом, а также прогнозирование параметров получаемых при этом волноводов.

В настоящей работе рассматриваются волноводы, изготовленные при комнатной температуре путем погружения подложек из поликарбоната в раствор метилового красного индикатора в сложном растворителе на основе ортоксиллола. Время проведения диффузии — от 0.5 до 16 минут. Измерение спектра эффективных показателей преломления мод получаемых волноводов проводилось по темным m -линиям, а восстановление профиля показателя преломления — по методу ВКБ [4]. Максимальная толщина волноводов достигала 23 мкм, а максимальное приращение показателя преломления Δn не превышало $7 \cdot 10^{-3}$. На рис. 1 представлены профили показателя преломления волноводов, полученных при различных временах диффузии. Видно, что для получаемых волноводов характерно плавное, практически линейное уменьшение показателя преломления от поверхности к подложке и резкий его скачок на границе “волновод — подложка”. Отклонение от линейности (кривая 3), очевидно, вызвано неточностью измерения соответствующего спектра мод по причине плохого качества поверхности при больших временах диффузии. По этой же причине более глубокие волноводы не изготавливались. Оптические потери при волноводном распространении измерялись методом, описанным в [5], и в лучших образцах не превышали 2.8 дБ/см ($\lambda = 0.633$ мкм), что вполне приемлемо для большинства устройств интегральной оптики.

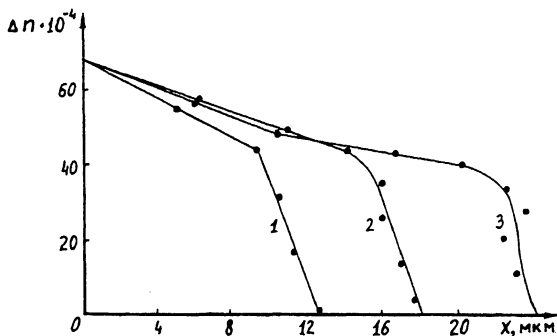


Рис. 1. Профили показателя преломления волноводов, восстановленные методом ВКБ (точки). 1 — $t = 4$ мин, 2 — $t = 9$ мин, 3 — $t = 16$ мин.

Процесс формирования волноводов в данном случае можно представить как процесс диффузии молекул красителя вместе с молекулами растворителя в структуру поликарбоната. Эксперименты показали, что обработка подложек в растворителе без красителя не приводит к какому-либо заметному изменению показателя преломления приповерхностного слоя. Таким образом, все приращение показателя преломления в приповерхностном слое обусловлено наличием в нем молекул красителя. Предположим, что показатель преломления в слое линейно зависит от концентрации молекул красителя и его профиль можно определить из уравнения диффузии [6]

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

где N — приведенная концентрация молекул диффузанта в полимере, D — коэффициент диффузии, который в общем случае зависит от N . Начальные и граничные условия диффузионной задачи определяются условиями формирования волноводов (случай диффузии из постоянного источника) и из анализа экспериментальных результатов, представленных на рис. 1 (мгновенное достижение насыщения концентрации молекул красителя в полимере на поверхности соприкосновения с раствором). Из рис. 1 (мгновенное достижение насыщения концентрации молекул красителя в полимере на поверхности соприкосновения с раствором). Из рис. 1 также следует вывод, что в данном случае зависимостью коэффициента диффузии D от N пренебречь нельзя, так как иначе бы вид профиля $n(x)$ описывался дополнительной функцией ошибок [6].

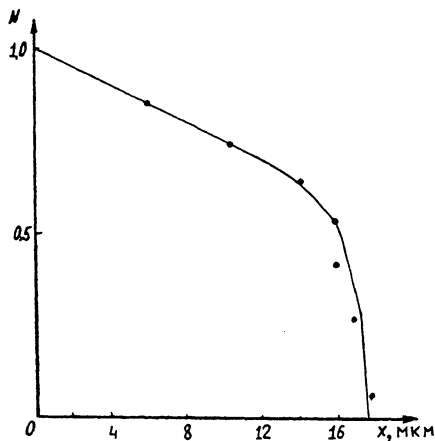


Рис. 2. Профиль показателя преломления волновода ($t = 9$ мин), полученный в результате решения диффузионной задачи (линия) и восстановленный методом ВКБ (точки).

Для определения зависимости D от N применялась методика, предложенная ранее [7] для ионообменных волноводов. В качестве базового использовался волновод, сформированный за время $t = 9$ мин. В результате получилось, что зависимость D от N можно представить в виде

$$D = D_m \cdot \exp [k \cdot (1 - N)^4], \quad (2)$$

где $D_m = 0.474 \text{ мкм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ — максимальный коэффициент диффузии, а $k = -30$ — безразмерный параметр, зависящий в общем случае от концентрации красителя в растворе.

Решение диффузионной задачи проводилось методом конечных разностей по неявной схеме [8], и его результаты представлены на рис. 2. Видно, что предложенная математическая модель хорошо описывает характерные особенности профиля $n(x)$ волновода. Следует отметить, что метод ВКБ, при помощи которого осуществлялось восстановление профиля волноводов по экспериментально измеренным спектрам мод, сам является приближенным. Поэтому было проведено сравнение экспериментальных спектров мод с рассчитанными на основании результатов решения диффузионной задачи. Расчет проводился с помощью метода стратификации [9]. Для волновода, полученного за время $t = 4$ мин, экспериментально восстановленный профиль $n(x)$ которого не использовался для определения значений параметров D_m и k в соотношении (2), отклонение расчетных значений эффективного показателя преломления от экспе-

риментальных не превышало 2% по отношению к Δn , а для двухмодового волновода ($t = 1$ мкм) — не более 2.4%.

Таким образом, методом диффузии метилового красного индикатора в поликарбонат получены волноводы с удовлетворительным уровнем потерь, исследованы их линейные оптические характеристики и предложена математическая модель, хорошо описывающая их профиль показателя преломления, что особенно важно для исследования нелинейных явлений в этих волноводах.

Список литературы

- [1] *Amano M., Kaino T., Matsumoto S.* // Chem. Phys. Lett. 1990. V. 170. N 5, 6. P. 515–516.
- [2] *Couture J.J.A.* // Appl. Opt. 1991. V. 30. N 20. P. 2858–2866.
- [3] *Goodwin M.J.* // SPIE. 1987. V. 836. P. 265–269.
- [4] *White J.M., Heidrich P.F.* // Appl. Opt. 1976. V. 15. N 1. P. 151–155.
- [5] *Редько В.П., Романенко А.А., Сотский А.Б., Хомченко А.В.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 4. С. 14–18.
- [6] *Stewart G., Laybourn P.J.R.* // IEEE J. Quant. Electr. 1978. V. 14. N 12. P. 930–934.
- [7] *Томов А.В.* // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 14. С. 60–62.
- [8] *Калиткин Н.Н.* Численные методы. М.: Наука. 1978. 512 с.
- [9] *Сотский А.Б., Сотская Л.И., Столяров Ю.Д.* // Радиотехника и электроника. 1989. Т. 34. № 6. С. 1158–1165.

Институт прикладной
оптики АНБ
Могилев

Поступило в Редакцию
14 февраля 1995 г.