

ПЛАНАРНЫЕ ВОЛНОВОДЫ С ОСОБЫМ ХОДОМ ДИСПЕРСИИ

К.А. Ланда, М.А. Иголинская,
Т.И. Янина

Обнаружен особый ход дисперсии показателя преломления (ПП) и дисперсия двулучепреломления в ионообмененных плоских поверхностях оптических стекол, обладающих волноводными свойствами.

Применительно к планарной оптике дисперсия есть зависимость от длины волны света эффективного ПП или приращения ПП [1].

Для конкретного волновода, работающего в режиме монохроматического излучения, учет указанной зависимости, казалось бы, необязателен, тем не менее, для гибридных интегральных схем или элементов состыковки с волоконно-оптическими элементами знание дисперсии имеет такое же значение, как для объемной оптики.

В ряде работ [1, 2] эффективные параметры волноводов (в стеклах, пленках или кристаллах) определялись для двух-трех длин волн, и отмечалась значительная дисперсия Δn , однако экспериментального исследования волноводной дисперсии ионообмененных стекол (т.е. волноводов класса градиентных) практически не проводилось. Не рассматривался и вопрос о дисперсии модовой анизотропии в таких структурах. Кроме того, несомненный интерес должно представлять исследование планарных аналогов оптических постоянных литых (объемных) стекол, в том числе дисперсионных.

В настоящей работе такое исследование проведено, по-видимому, впервые.

Планарные волноводы с градиентом ПП сформированы в плоскопараллельных образцах размером 30 x 20 x 2 мм³ оптических стекол группы кронов и группы флинтс с содержанием Na_2O от 5 до 25 мол. %, в режиме низкотемпературной ($T < T_g$) ионообменной диффузии из расплавов солей калия, рубидия, таллия и серебра (см. например, [3]).

Лазерное зондирование слоя глубиной 1-20 мкм проводилось по методике резонансного возбуждения волноводных мод с призмным элементом связи [4] на длинах волн 436, 546, 589 и 632 нм.

Контролируемыми параметрами ионообмененного слоя стекла являлись эффективный ПП n_m (m - индекс моды), число волноводных мод N , приращение ПП Δn и модовая анизотропия $\Delta n_{TM}, TE, m$ - разность эффективных ПП волноводных мод одного индекса по разной поляризации, являющаяся планарным аналогом двулучепреломления (см. [3] и цитированную литературу). Погрешность измерения n_m составляла $\pm 1 \cdot 10^{-4}$. Расчет глубины слоя h и ПП поверхности проводился методом ОВКБ [5].

Напомним, что в современную систему оптических постоянных стекла [6] входят (помимо ПП на длине волны 546 нм n_e)

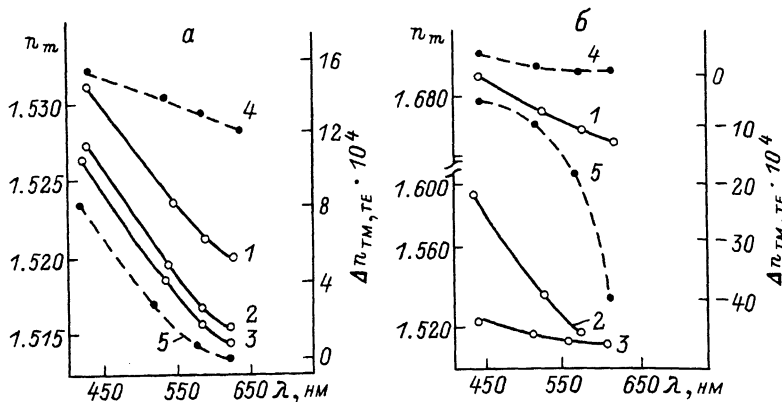


Рис. 1. Зависимость эффективных ПП ионообмененных К-волноводов (а) и Тl-волноводов (б), ПП подложки и модовой анизотропии от длины волны света. 1 - ПП основной моды ($m = 0$), 2 - ПП высшей моды, 3 - ПП подложки, 4 - модовая анизотропия.

средняя дисперсия $n_{F'} - n_{C'}$, относительные частные дисперсии

$$\gamma = \frac{n_1 - n_2}{n_{F'} - n_{C'}} \text{ и коэффициент дисперсии, или число Аббе, } \nu_e = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}}$$

Относительный ход дисперсии характеризуется величиной отклонения относительной частной дисперсии от нормальной прямой в координатах γ, ν [7], и стекла с особым ходом дисперсии - лангстекла или курцстекла (кроны или флинты) обладают соответственно повышенной или пониженной относительной дисперсией.

В качестве планарных аналогов дисперсионных постоянных мы принимаем значения γ и ν_e , рассчитанные по эффективным ПП, без учета незначительного различия длин волн (например, линии C' и длины волны He-Ne лазера).

На рис. 1 сопоставлены дисперсии n_m ионообмененных слоев стекол с дисперсией ПП литых стекол - подложек (n_∞) и приведена типичная кривая дисперсии $\Delta n_{TM,TE}$. Для К- и Rb-волноводных слоев зависимость $n_m(\lambda)$ для всех m повторяет ход кривой $n_\infty(\lambda)$ и удовлетворительно описывается формулой Коши:

$$n_m(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2}, \quad n_{\text{эксп}} - n_{\text{расч}} = \pm 2 \cdot 10^{-4}.$$

Значения средних дисперсий ионообмененного слоя и подложки близки и равны соответственно ~ 0.0115 и 0.0105 .

Для высокопреломляющих Ag- и Tl-волноводов средняя дисперсия n_m основной моды равна 0.0320 и 0.0180 соответственно в стеклах с исходной дисперсией 0.0105, что отвечает извест-

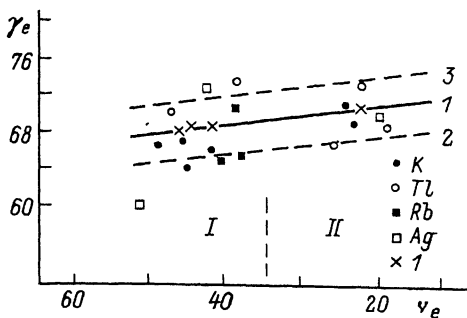


Рис. 2. Относительный ход дисперсии в ионообменных планарных волноводах. Ионообменная диффузия из расплавов: $K - KNO_3$, $Tl - TlNO_3$, $Rb - RbNO_3$, $Ag - AgNO_3 - NaNO_3$; 1 - ПП основной моды ($m = 0$), 2 - ПП высшей моды ($m > 3$), 3 - нормальная прямая для стекол-подложки [7], I - область кронов, II - область флинтгов.

ной закономерности роста дисперсии с увеличением ПП стекла, но крутизна зависимости $n_m(\lambda)$ резко отличается от кривой $n_\infty(\lambda)$

В соответствии с дисперсией n_m в ионообменных градиентных стеклах уменьшение λ эквивалентно увеличению ПП, что для планарной оптики эквивалентно увеличению толщины волновода. Поэтому при переходе в коротковолновую область, во-первых, возрастает число реализуемых в слое с заданными $\Delta n, h$ волноводных мод и, во-вторых, становится возможной реализация волноводного эффекта в слое, не обладающем волноводными свойствами на $\lambda = 632$ нм. Так, для K - и Rb - волноводов на исследованном участке спектра $\Delta N = 6-8$, для Ag - и Tl -волноводов $\Delta N = 2-5$ для различных типов подложек.

На рис. 2 в координатах γ_e, ν_e приведена нормальная прямая относительной дисперсии и данные для ионообменных волноводных слоев в стеклах разных марок. Особым ходом дисперсии $n_m(m=0)$ обладают ионообменные слои, сформированные в кронах и флинтах с нормальным ходом дисперсии (1), так что ионообменные волноводы по принятой в оптико-механической промышленности терминологии являются курцкронами или курцфлинтами (2). Интересно, что особый ход дисперсии ПП высших мод переводит волноводный слой в класс лангкрона или лангфлинта (3).

При этом особые точки, отвечающие постоянной паре обменивающихся катионов ($Na^+_{\text{стекло}} \rightleftharpoons M^+_{\text{расплав}}$) в разных исходных подложках, находятся ниже или выше нормальной прямой, что согласуется с особым ходом дисперсии для литых курцстекол или лангстекол [8].

Полученные результаты имеют, по нашему мнению, по крайней мере два важных следствия

Способный ход дисперсии в ионообменных стеклах подтверждает гипотезу низкотемпературного ($T < T_g$) ионообменного синтеза стекла нового состава в приповерхностном слое [9].

Сочетание же в пределах одного слоя, сформированного в монолитной подложке, областей с повышенной и пониженной относительной дисперсией может представить интерес с точки зрения возможностей создания апохроматов для планарной (интегральной) оптики.

Л и т е р а т у р а

- [1] Аникин В.И., Летов Д.А. - Оптика и спектроскопия, 1978, т. 44, в. 1, с. 184-188.
- [2] Золотов Е.М., Прохоров А.М., Черных В.А. - Квантовая электроника, 1980, т. 7, № 4, с. 843-848.
- [3] Ланда К.А., Петровский Г.Т. Аморфные планарные волноводы. Красноярск: Красноярск. ун-т, 1987. 196 с.
- [4] Tien P.K., Ulrich R., Martin R.J. - Appl. Phys. Lett., 1969, v. 14, N 9, p. 291-294.
- [5] White J.M., Heidrich P.F. - Appl. Opt., 1976, v. 15, N 1, p. 151-156.
- [6] Справочник технолога-оптика: Справочник / И.Я. Бубас, В.А. Вейденбах, И.И. Духопел и др., под общей ред. С.М. Кузнецова и М.А. Окатова. - Л.: Машиностроение, 1983. 414 с.
- [7] Полухин В.А. - ОМП, 1961, № 3, с. 14-17.
- [8] Физико-химические основы производства оптического стекла. Под ред. Л.И. Демкиной. - Л.: Химия, 1976. 456 с.
- [9] Ланда К.А., Ланда Л.М., Мишин А.В., Петровский Г.Т. - ДАН СССР, 1983, т. 269, № 6, с. 1355-1357.

Кузбасский политехнический институт, Кемерово

Поступило в Редакцию
1 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 13

12 июля 1988 г.

ИЗМЕРЕНИЕ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ В ГОМЕОПЛАНАРНЫХ ОБРАЗЦАХ НЕМАТИКОВ КАК МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ СЦЕПЛЕНИЯ

Л.М. Блинов, А.А. Сонин

Как известно, под энергией сцепления нематического жидкого кристалла (НЖК) с твердой поверхностью понимается изменение свободной поверхностной энергии НЖК, возникающее при полной