

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.379.8 : 666.92

Журнал технической физики, т. 55, в. 1, 1985

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ
В ОПТИЧЕСКИХ СТЕКЛАХ ЭЛЕКТРОДИФФУЗИЕЙ СЕРЕБРА

А. И. Войтенков, В. П. Редько

Метод электродиффузии серебра впервые использован для целей создания волноводов в кварцевом [1] и техническом известково-натриевом [2, 3] стеклах. Зависимости свойств волноводов от условий их изготовления и химического состава стекла практически не исследовались, а отдельные выводы работ [2, 3] противоречивы. В настоящей работе изложены результаты исследования планарных волноводов, созданных электродиффузией Ag в различных марках многокомпонентных оптических стекол (ЛК4, ЛК5, ЛК7, К8, ТК9, БФ27, ЛФ11, Ф1).

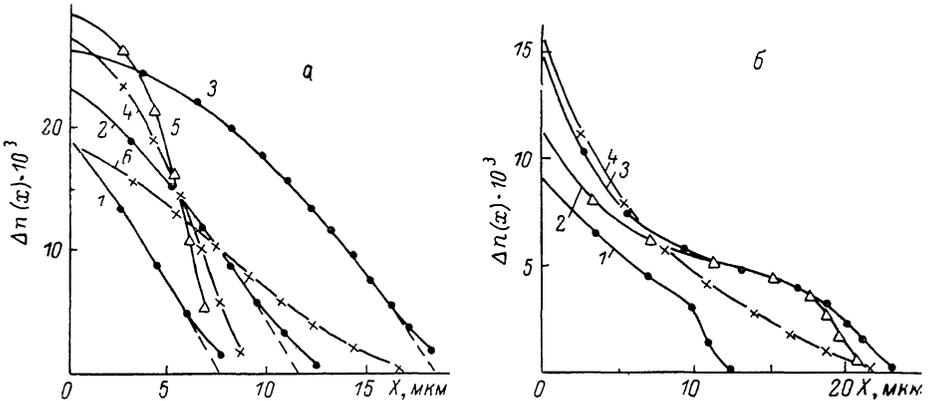


Рис. 1. Профили показателя преломления волноводов в стеклах ЛК5 (а) и ЛК7 (1—3) и ЛК4 (4) (б).

а: $Q=0.1$ (1), 0.2 (2) и 0.4 Кл/см² (3), $T=400$ °С, $E=6$ В/мм; $E=6$ (2), 18 (4) и 54 В/мм (5), $T=400$ °С, $Q=0.2$ Кл/см²; $T=400$ (2) и 500 °С (6), $E=6$ В/мм, $Q=0.2$ Кл/см²; б: $E=300$ В/мм, $Q=0.1$ (1), 0.2 Кл/см² (2—4), $T=400$ (1, 2, 4), 500 °С (3).

На одну сторону полированной стеклянной подложки термическим испарением в вакууме наносилась служившая анодом пленка серебра толщиной несколько микрометров и окислялась на воздухе при температуре 300 °С. В качестве катода использовался графитовый порошок или алюминиевая пленка толщиной $5 \dots 10$ мкм. Подложка с электродами нагревалась до температуры, не превышающей температуру отжига стекла T_g ; на электроды подавалась разность потенциалов, и измерялся ток, протекающий через образец. Величина его практически не зависела от времени и резко уменьшалась лишь после полного внедрения серебра в подложку. Процесс формирования волноводов длился от нескольких минут до нескольких часов. После его завершения подложка быстро охлаждалась.

Установлено, что в любом из исследованных стекол при соответствующих технологических условиях могут быть получены волноводы с потерями ~ 1 дБ/см и меньше. Для устранения основной причины потерь — окрашивания волноводного слоя коллоидными образованиями серебра [3] — электродиффузию следует проводить при температурах на $100 \dots 150$ ° ниже T_g и плотностях тока, не превышающих, как правило, $0.1 \dots 0.2$ мА/см².

Исследованиями установлено, что свойства волноводов определяются прежде всего содержанием в стеклах оксидов щелочных металлов. В зависимости от вида замещающего се-

ребром иона щелочного металла все стекла могут быть разделены на два типа — натриевые и калиевые. Профили показателя преломления (ППП) $\Delta n(x)$ волноводов в стеклах этих типов, рассчитанные методом ВКБ, приведены на рис. 1. В стекле ЛК5 содержится 5.0 мол.% Na_2O , в ЛК4 — 7.6 % K_2O , в ЛК7 — 5.3 % K_2O и 0.6 % Na_2O . Видно, что ППП в каждом из стекол определенным образом зависит от напряженности электрического поля E , температуры T и величины заряда Q , прошедшего через 1 см² поверхности образца. С увеличением E при неизменной величине Q ППП в натриевых стеклах ЛК5 и К8 видоизменяется от функции ошибок при E , близком к нулю, до ступенчатого при $E > 100$ В/мм. В калиевых стеклах ЛК4, ЛФ11, Ф1 даже при $E=1.5$ кВ/мм образуются волноводы с профилем, близким к линейному. С увеличением температуры процесса при неизменных величинах Q и E в натриевых стеклах наблюдается расплывание ППП, сопровождающееся уменьшением ПП на поверхности волновода Δn_0 и ростом его толщины. В калиевых стеклах, наоборот, при этом происходит увеличение Δn_0 при фактически неизменной толщине. Из рис. 1 следует также зависимость ППП волноводов от величины Q . Эта величина является, вообще говоря, наиболее удачной характеристикой исследуемого процесса формирования волноводов. Измеряя ее, можно с высокой точностью контролировать параметры образующегося волновода.

Зависимость параметров волноводов Δn_0 и d в стекле ЛК5 от величины Q приведена на рис. 2.¹ Она показывает широкие возможности метода электродиффузии для создания

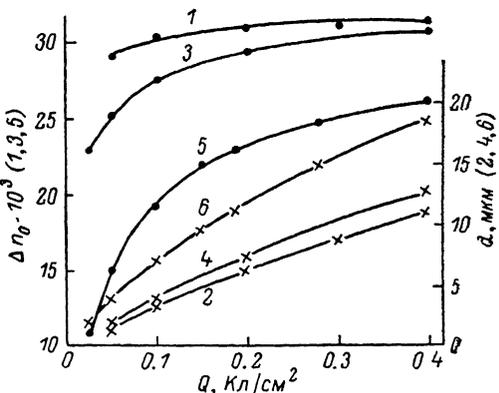


Рис. 2. Зависимость параметров волноводов в стекле ЛК5 от величины Q .

1, 2 — $T=270$ °C, $E=500$ В/мм; 3, 4 — 400, 54; 5, 6 — 400, 6.

волноводов с заданными параметрами. В целом аналогичная по виду зависимость получена и в других натриевых и калиевых стеклах. В обоих типах стекол наиболее существенно она проявляется при высоких температурах и низких напряженностях поля. В волноводах, получаемых нами ионным обменом в расплаве AgNO_3 в электрическом поле, величина Δn_0 практически не зависит от Q , что весьма ограничивает возможности этого метода для управления апертурой волноводов. Важным в технологическом плане преимуществом метода электродиффузии является также отсутствие неконтролируемого внедрения серебра за время установления рабочей температуры. Это подтверждается приведенными в [4] оценками скорости диффузии Ag из металлической пленки, которая на несколько порядков меньше, чем из расплава AgNO_3 . Следовательно, увеличение ПП прианодного слоя стекла обусловлено только ионами Ag^+ , замещающими ионы щелочного металла, которые под действием поля сместились в направлении к катоду. Поэтому концентрация серебра в поверхностном слое стекла m_0 , выраженная в молярных долях, может быть рассчитана по формуле

$$m_0 = QV\Delta n_0 / 2FA,$$

где F — число Фарадея, V — молярный объем стекла. Инкремент показателя преломления $k = \Delta n_0 / m_0$, найденный по результатам исследования стекол ЛК5, К8, ТК9, оказался равным 0.61 ± 0.02 . Учитывая близкие значения ПП окислов Na_2O и K_2O , такое значение k следовало ожидать и при замене ионов K^+ на ионы Ag^+ . Однако в калиевых стеклах оно было получено лишь при температурах, близких к T_g . При $T=400$ °C значения величины k в стеклах ЛК4, ЛК7, ЛФ11 и Ф1 составляли соответственно 0.31, 0.40, 0.48 и 0.57. Здесь, видимо, не все вакансии ионов калия заполнялись ионами серебра и имело место явление электролиза стекла. Следовательно, на настоящем этапе исследований величина Δn_0 может прогнозироваться только в натриевых стеклах.

Согласно расчетам, на поверхности всех стекол было достигнуто полное замещение ионов Na^+ . В стеклах, содержащих только K_2O , близкое к полному замещение ионов K^+ происходит только при температурах и напряженностях поля, при которых возникает опасность электрического пробоя стекла. В стеклах с преобладающим содержанием Na_2O , например

¹ Толщина волновода d выбирается по точке пересечения касательной к функции $\Delta n(x)$ с осью x (рис. 1).

K8, ионы K^+ не замещаются вовсе, а в стеклах с преобладающим содержанием K_2O , например ЛК7, судя по характерному виду ППП на рис. 1, б, — лишь частично и на значительно меньшую глубину.

Проведенные исследования свидетельствуют о высокой перспективности применения метода электродиффузии для целей создания волноводов с заданными параметрами и заданным профилем показателя преломления. Показана принципиальная возможность прогнозирования свойств волноводов исходя из химического состава стекла подложки.

Литература

- [1] *Войтенков А. И., Редько В. П.* А. с. 762364 (СССР). Способ получения оптических волноводов. — Оpubл. в Б. И., 1982, № 34.
- [2] *Chartier G. H., Jaussaud P., De Oliveira A. D. et al.* Optical Waveguides fabricated by electric — field controlled ion exchange in glass. — *Electron. Lett.*, 1978, v. 14, № 5, p. 32—134.
- [3] *Findakly T., Garmire E.* Reduction and control of optical waveguide losses in glass. — *Appl. Phys. Lett.* 1980, v. 37, № 10, p. 855—856.
- [4] *Войтенков А. И., Редько В. П.* Определение параметров одномодовых диффузионных волноводов. — *Квант. электр.*, 1980, т. 7, № 9, с. 2001—2003.

Институт физики АН БССР
Могилевское отделение

Поступило в Редакцию
12 декабря 1983 г.