

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ В СТЕКЛАХ

А. И. Войтенков, Г. Т. Петровский, В. П. Редько

Наиболее распространенными в настоящее время методами изготовления планарных оптических волноводов в стеклах и кристаллах являются диффузия и ионный обмен. Однако применимость этих методов, в особенности ионного обмена, ограничена. Это относится прежде всего к высокопреломляющим стеклам с особыми свойствами, на базе которых могут быть созданы многие устройства интегральной оптики. Для создания волноводов в таких стеклах, по-видимому, выгоднее не вводить в них примесь с более высоким показателем преломления, а, наоборот, полностью или частично удалить из поверхностного слоя стекла компоненты, понижающие его показатель преломления. Обедненный ими слой будет обладать свойствами оптического волновода.

В настоящем сообщении излагается метод изготовления волноводов, пригодный для широкого класса стекол. В его основе лежит явление электролиза. Под воздействием постоянного электрического поля, приложенного к расположенным на стеклянной пластинке электродам, щелочные ионы смещаются к катоду, образуя в прикатодной области стекла слой с повышенной их концентрацией. Одновременно под анодом образуется слой, обедненный щелочным металлом, если только его соединения не входили в состав материала анода. В зависимости от соотношения показателей преломления стекла и окисла, ответственного за проводимость, волноводными свойствами будет обладать или прикатодный, или прианодный слой обработанного стекла.

Особенности процесса формирования волноводов предложенным способом исследованы нами на подложках из оптического свинцово-силикатного стекла Ф1 ($n_p = 1.6128$) и боросиликатного стекла ЛК7 ($n_p = 1.4828$), содержащих K_2O ($n_p = 1.575$ [1]). На две противоположные полированные поверхности подложки испарением в вакууме наносились алюминиевые электроды толщиной 5—10 мкм. Для уменьшения поверхностной проводимости площадь подложки в 1.5 раза превосходила площадь электрода. Подложка с нанесенными на нее электродами помещалась в печь и нагревалась до заданной температуры, меньшей температуры отжига стекла. Затем с помощью дополнительных прижимных электродов к образцу подводилось постоянное напряжение 300 В/мм и измерялся ток, протекающий через него. Время обработки варьировалось от нескольких минут до нескольких часов. С целью фиксации состояния поверхности стекла, достигнутого при электролизе, его охлаждение до температуры 150 °С проводилось при включенном электрическом поле. После охлаждения электроды стравливались с подложки. Внедрения алюминия в стекло не обнаружено. На прианодной стороне стекла Ф1 и прикатодной стороне стекла ЛК7 после обработки появлялся волноводный слой, удерживающий соответственно только одну или несколько волноводных мод. Установлено, что потери света в волноводе сильно зависят от химического состава стекла, величины заряда Q , прошедшего через него, и температуры. Минимальные потери в исследованных стеклах составили несколько дБ/см. Дальнейшее уменьшение потерь в волноводах можно достичь при использовании специально приготовленных стекол с низкой концентрацией щелочных окислов, в частности в легированном ими кварцевом стекле.

Для определения толщины волновода d и разности между его показателем преломления и показателем преломления подложки Δn использовался двухволновой метод [2]. С целью увеличения точности расчета волноводный показатель преломления n_w измерялся на пяти длинах волн в интервале 0.546—0.633 мкм. Его зависимость на длине волны 0.589 мкм для TE -поляризации от величины Q приведена на рис. 1. При расчетах профиль показателя преломления волновода предполагался прямоугольным, а дисперсия материала волноводного слоя принималась равной дисперсии материала подложки. Как видно из рис. 2, толщина волновода в стекле Ф1 линейно растет с ростом Q и практически не зависит от тем-

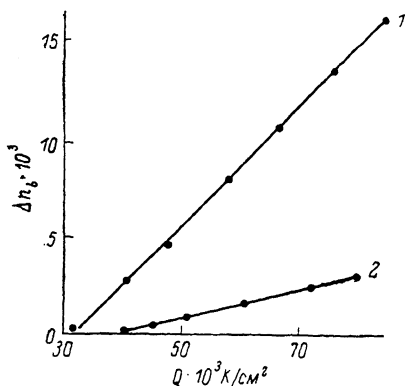


Рис. 1. Зависимость величины $\Delta n_w = n_w - n_{\text{подл}}$ от количества прошедшего через стекло Ф1 электричества Q при температуре 451 (1) и 437 °C (2).

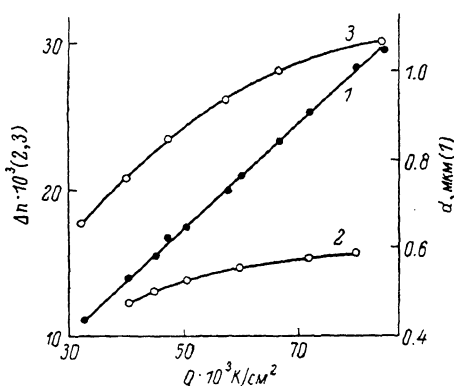


Рис. 2. Зависимость толщины и показателя преломления волноводов в стекле Ф1 от величины прошедшего заряда при температуре 437 (1, 2) и 451 °C (3).

пературы обработки, а величина Δn стремится к некоторому предельному значению, сильно зависящему от температуры.

Расчитанная величина Δn почти на порядок превосходит приращение показателя преломления, которое следует ожидать при полном удалении щелочного окисла из прианодного слоя стекла Ф1. По-видимому, это является следствием кристаллизации слоя стекла, обедненного K_2O . Следовательно, толщина волноводного слоя определяется не только скоростью переноса ионов K^+ , а также скоростью процесса поверхностной кристаллизации. При повторном нагреве волновода до температуры отжига стекла, равной 460 °C, происходит дальнейшее увеличение его показателя преломления даже без приложения электрического поля.

При электролизе низкопреломляющего стекла ЛК7 волноводные слои, удерживающие от одной до трех волноводных мод, образуются со стороны катода. Их профили показателя преломления определялись по методу ВКБ с использованием иммерсионных жидкостей [3]. Обнаружено, что с ростом напряженности поля и величины пропускаемого через стекло заряда профиль трансформируется от функции ошибок к экспоненциальной функции. При повторном отжиге этого стекла в отличие от стекла Ф1 имеют место чисто диффузионные процессы выравнивания концентрации щелочного металла, сопровождающиеся увеличением толщины волновода и уменьшением величины показателя преломления на его поверхности.

Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности предлагаемого метода для изготовления волноводов.

Литература

- [1] А. А. Аппен. Химия стекла, 310. «Химия», Л. (1974).
- [2] G. B. Brandt. Appl. Opt., 14, 946 (1975).
- [3] В. И. Борисов, А. И. Войтенков. ЖТФ, 51, 1668 (1981).

Институт физики АН БССР
Могилевское отделение

Поступило в Редакцию
7 декабря 1982 г.