

СОЗДАНИЕ ВОЛНОВОДНЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК В СТЕКЛЕ МЕТОДОМ ДИФФУЗИИ ЧЕРЕЗ ИОННУЮ МАСКУ

Д.Х. Нурлигареев, В.А. Сычугов

Предложена и реализована новая методика изготовления дифракционных фазовых решеток на основе градиентных волноводов в стекле.

Метод ионно-обменной диффузии является одним из наиболее популярных способов изготовления градиентных волноводов в стекле. Ионы калия и серебра используются наиболее интенсивно. Это объясняется следующими причинами: процесс $K^+ - Na^+$ обмена происходит достаточно медленно и его легко контролировать; калиевые волноводы (K^+ -волноводы) обладают низкими потерями, хорошо согласуются с оптическим волокном (в случае использования канальных волноводов) и пригодны для изготовления пассивных интегрально-оптических устройств, таких как Y-ответвители и направленные ответвители /1, 2/. Времена формирования Ag^+ -волноводов в натриевых стеклах значительно короче времен создания аналогичных K^+ -волноводов, и процесс $Ag^+ - Na^+$ обмена более удобен при изготовлении многомодовых волноводов. Кроме того, характерные значения величины приращения показателя преломления для Ag^+ -волноводов оказываются по крайней мере на порядок выше аналогичных величин, достигаемых в случае K^+ -волноводов, что важно с точки зрения снижения размеров устройств, создаваемых на основе канальных волноводов /3/. Возможность варьирования параметров ионно-обменных волноводов в стекле посредством их отжига и проведения обратной диффузии позволяет создавать достаточно сложные устройства, в основе работы которых используются различные физические эффекты /4/. Тем не менее в ряде случаев, например, при создании волноводов с глубокими решетками, возникает ряд трудностей, обусловленных особенностями процессов ионного обмена в стекле. В частности, вследствие боковой диффузии ионов под маску получаемые вариации показателя преломления оказываются весьма незначительными /5/. По этой причине для изготовления дифракционных решеток обычно используется другой метод — гофрировка поверхности волновода посредством ионного либо химического травления через полученную стандартным голографическим способом маску /6/. Расположенная на границе волноводного слоя решетка чрезвычайно чувствительна к качеству его поверхности, а также к параметрам среды, в которой находится волновод. Наличие дефектов на поверхности и неоднородностей среды может приводить к нежелательному рассеянию.

В данной работе для изготовления глубокой решетки, связанной с градиентным волноводом и представляющей собой вариации параметров волноводного слоя, был применен метод двухстадийного двойного ионного обмена, используемый для изготовления двухслойных волноводов в стекле /7/. На первом этапе (рис. 1а) через металлическую маску в виде дифракционной решетки с периодом 0,78 мкм и толщиной 0,1 мкм была проведена обработка образца в расплаве KNO_3 при температуре 360 °С. Время обработки составляло 5 мин. В результате в приповерхностном слое образца толщиной порядка 1 мкм образовалась маска из ионов калия, концентрация которых на границе подложки изменялась с периодом 0,78 мкм. После стравливания металлической маски в кипящей ортофосфорной кислоте образец был прогрет над расплавом в течение 5 мин и затем опущен в 2%-й расплав $AgNO_3$ в $NaNO_3$ (рис. 1б). Время диффузии при температуре 320 °С составило 1,5 мин. В областях образца, предварительно защищенных металлической маской, был сформирован волноводный слой, для которого, по нашим оценкам, диффузионная глубина составляла 1,0 мкм, а величина максимального приращения показателя преломления была порядка 0,05. В областях образца, подвергшихся обработке в расплаве KNO_3 (области, расположенные непосредственно под входными окнами маски), скорость процесса внедрения ионов Ag^+ в образец была существенно снижена присутствующими в стекле малоподвижными ионами K^+ (коэффициент самодиффузии ионов K^+ меньше коэффициента самодиффузии ионов Na^+ примерно в 500 раз /5/). Вследствие этого диффузионная глубина слоя с приращениями показателя преломления, характерными для маломодовых Ag^+ -волноводов, оказалась в этих областях меньше 1,0 мкм.

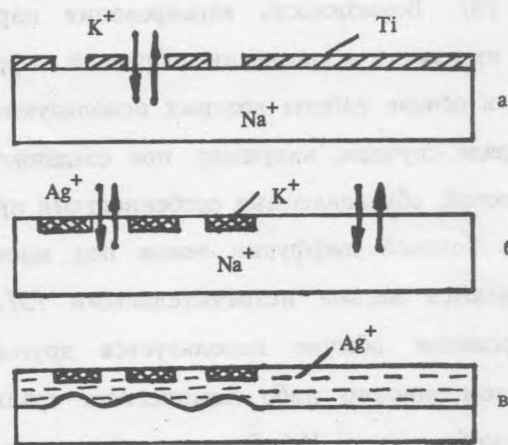


Рис. 1. Схема изготовления фазовой решетки на основе планарного волновода в стекле: а — обработка образца в расплаве KNO_3 через металлическую маску, б — ионно-обменная диффузия из расплава 2% $AgNO_3$ + 98% $NaNO_3$ через калиевую ионную маску, в — градиентный волновод с фазовой решеткой.

Таким образом, в стеклянной пластине, протяженностью 35 мм, был сформирован Ag^+ -волновод, параметры которого в области калиевой ионной маски, протяженностью 6 мм, варьировались с периодом 0,78 мкм (рис. 1в). Эта область периодических возмущений была использована для осуществления фазового согласования между модами Ag^+ -волновода и пучком ТЕ-поляризованного излучения He-Ne лазера ($\lambda = 0,6328$ мкм), падающим наклонно к поверхности образца. Фазовое согласование достигалось при значениях углов падения равных $46,48^\circ$ ($-5,16^\circ$) и $44,40^\circ$ ($-6,63^\circ$), что соответствовало для дифракционного пучка -1 -го (-2 -го) порядка фазовой решетки с периодом 0,78 мкм возбуждению мод с эффективными показателями преломления $n^* = 1,54032$ и $1,51476$.

Измерение длины связи /6/ фазовой решетки с Ag^+ -волноводом осуществлялось для волноводной моды наиболее близкой к отсечке ($n^* = 1,51476$) и имеющей наименьшее рассеяние на дефектах поверхности. С этой целью лазерное излучение, мощность которого была стабилизирована, вводилось в волновод посредством призмы с показателем преломления, равным 1,6101. С помощью подвижного фотоприемника и щелевой диафрагмы было измерено распределение интенсивности выводимого из волновода решеткой излучения в наиболее интенсивном дифракционном пучке -1 -го порядка, которое соответствовало полным потерям порядка 7,5 дБ/см. С учетом потерь, присущих волноводной моде и составляющих по порядку величины 1 дБ/см, численное значение длины связи решетки с волноводом составило 6 мм.

Таким образом, показана возможность создания на основе планарного Ag^+ -волновода в стекле эффективной фазовой решетки методом диффузии ионов Ag^+ через калиевую ионную маску.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лындин Н.М., Нурлигареев Д.Х., Сычугов В.А. Квантовая электроника (в печати).
2. Yip G.L., Finak J. Opt. Lett., 9, 423 (1984).
3. Walker R.J., Wilkinson C.D.W. Appl. Opt., 22, 1029 (1983).
4. Дианов Е.М. и др. Квантовая электроника, 14, 1151 (1987).
5. Albert J., Yip G.L. J. Lightwave Technol., 6, 552 (1988).
6. Тамир Т. Интегральная оптика, М., Мир, 1978.
7. Li M.J. et al. Appl. Phys. Lett., 58, 2607 (1991).

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 17 ноября 1992 г.