

ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛНОВОДЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ОБЛУЧЕНИЕМ ЛЕГИРОВАННЫХ КВАРЦЕВЫХ СТЕКОЛ ИОНАМИ ГЕЛИЯ

В. И. Пшеницин, В. П. Редько, Г. П. Старостина, Л. М. Штейнгарт

Метод формирования планарных и полосковых оптических волноводов при помощи облучения ионами хорошо известен и обладает целым рядом преимуществ по сравнению с другими технологическими методами [1, 2], в частности он позволяет получать волноводы в кварцевых стеклах. Однако изменение показателя преломления Δn кварцевых стекол под воздей-

ствием ионного облучения обычно невелико, что является особенностью этого метода. Так, при облучении потоками тяжелых ионов $\Phi = 5 \cdot 10^{14} \dots 10^{16}$ ион/см² (в области насыщения) величина $\Delta n = 0.014 \dots 0.015$, т. е. составляет $\sim 1\%$ [3]. Облучение большими потоками ($\Phi > 10^{16}$ ион/см²) ионов азота и бора [4, 5] приводит к более значительному изменению показателя преломления кварцевых стекол ($\Delta n/n_0 \approx 3 \dots 4\%$), но, как показали результаты авторов, формирование волноводов такими потоками, по-видимому, нецелесообразно, поскольку при этом возрастают потери света в волноводах ($\alpha \geq 15 \dots 20$ дБ/см).

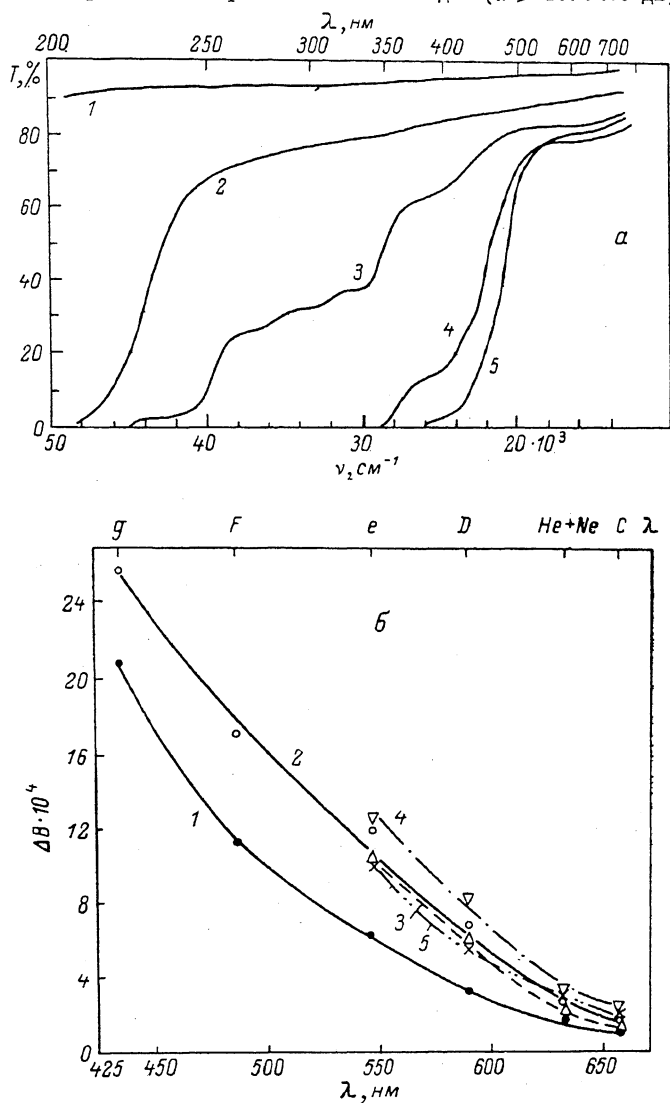


Рис. 1. Спектральные зависимости пропускания образцов легированных кварцевых стекол (а) и показателей преломления нулевой моды (б).

Номера кривых соответствуют номерам образцов в таблице.

Мы предприняли попытку сформировать в кварцевых стеклах волноводы с более высоким скачком показателя преломления с помощью облучения ионами гелия. Для этой цели были выбраны кварцевые стекла, легированные оксидами алюминия и лантаноидов. Известно [6], что легирование кварцевых стекол оксидами переходных металлов мало изменяет их механические и электрические характеристики, но существенно влияет на оптические свойства и в первую очередь на светопропускание и величину показателя преломления. Согласно [7], наличие примесей в кварцевых стеклах изменяет их радиационно-оптические свойства. Например, введение в кварцевые стекла оксидов алюминия и иттербия уменьшает пропускание света в УФ и коротковолновой области (рис. 1, а) и вызывает увеличение пока-

Параметры волноводов и легированных стекол ($\lambda = 632.8$ нм)

Номер образца	Легированная примесь лантаноидов	Концентрация, мас. %	Содержание Al_2O_3 , мас. %	n_s	$\Delta B_0 \cdot 10^4$	Δn	$\Delta n/n_s, \%$	Затухание до отжига α , дБ/см
1*	—	—	—	1.4570	16	0.0064	0.44	< 1
2	—	—	0.5	1.4575	24	0.0132	0.91	≤ 2.5
3	} Yb_2O_3 {	0.05	0.5	1.4575	20	0.0137	0.94	~ 10
4		0.2	0.5	1.4578	31	0.0152	1.04	~ 10
5		0.7	1.0	1.4594	30	0.0147	1.01	~ 12

* Для сравнения образец из стекла КУ-1, облученный при тех же условиях. $\Delta B_0 = B_0 - n_s$; $\Delta n = n_f - n_s$; n_s — показатель преломления подложки; $w_{\text{эф}}$, n_f — эффективные толщина и показатель преломления волноводного слоя в аппроксимации его профиля однородной ступенькой. В пределах ошибки измерений для всех образцов $w_{\text{эф}} = 0.8 \pm 0.05$ мкм. Данные приведены для $T = 290$ К.

зателя преломления (см. таблицу). Потому можно ожидать, что величина Δn у легированных кварцевых стекол, подвергшихся облучению ионами, будет иной, чем у нелегированных.

Проведенное нами облучение образцов из кварцевого стекла, легированного оксидами алюминия и иттербия, ионами He^+ ($E_0 = 140$ кэВ, $\Phi = 3 \cdot 10^{16}$ ион/см²), позволило получить планарные одномодовые оптические волноводы, которые возбуждались в интервале длин волн 546. . 656 нм (рис. 1, б). На более коротких длинах волн возбуждения волноводов в этих образцах не наблюдалось, вероятно, из-за сильного примесного поглощения (рис. 1, а).

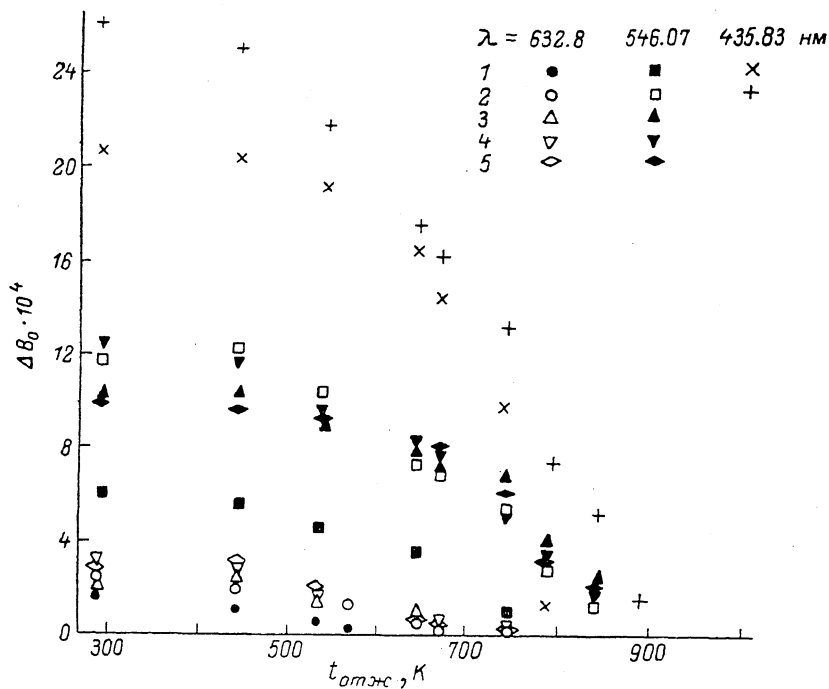


Рис. 2. Изменение показателя преломления нулевой моды в процессе изохронного отжига ($t = 1r$).

Волноводы в образцах № 1, 2 (из стекол без примеси Yb_2O_3) возбуждались во всем видимом диапазоне (рис. 1, б). Применение методики измерения показателей преломления волноводной моды B_0 в широком спектральном интервале позволило определить эффективные параметры сформированных волноводов (см. таблицу). Видно, что с увеличением концентрации легированной примеси (как Al_2O_3 , так и Yb_2O_3) n_s увеличивается, а Δn сначала увеличивается, а затем выходит на насыщение. Величина Δn у легированных стекол примерно вдвое больше, чем в чистом кварцевом стекле. Измерение температурной зависимости величины B_0 на разных длинах волн показало, что критические условия возбуждения на красном свете ($\lambda = 632.8$ нм) наступили раньше всего в волноводах в нелегированном стекле КУ-1 ($T_{\text{отж}} \approx 570$ К), а затем в образцах из легированных стекол ($T_{\text{отж}} \approx 740$ К; рис. 2). При дальнейшем

повышении температуры в волноводах в стеклах, легированных иттербием, наступало условие отсечки для желтого и зеленого света при 800 и 870 К соответственно.¹ После отжига при температуре 880 К волноводы существовали только в образце № 2 (см. таблицу) и возбуждались только светом с $\lambda = 435.8$ нм, а при повышении $T_{отж}$ до 930 К волноводы нив одном образце не возбуждались. Таким образом, волноводы в легированных кварцевых стеклах по сравнению с волноводами в чистых стеклах обладали более высокой термостойкостью (примерно на 150°). Аналогичные эксперименты по облучению кварцевых стекол, легированных самарием и европием, подтвердили закономерности, полученные для образцов, легированных иттербием, но отсутствие достаточного набора образцов не позволило сделать обобщения о связи «состав—свойства».

На основании результатов исследований можно сделать вывод о том, что использование кварцевых стекол, легированных оксидами алюминия и лантаноидов, дает возможность получить методом ионного облучения оптические волноводы с величиной Δn , примерно вдвое большей, чем в чистом кварцевом стекле. Кроме того, такие волноводы могут работать в более широком температурном интервале.

Литература

- [1] *Townsend P. D.* Ion Implantation and Integrated Optics. — J. Phys. E. Sci. Instrum., 1977, v. 10, № 3, p. 197—203.
- [2] *Редько В. П., Штейнгайт Л. М.* Состояние и перспективы использования метода ионного облучения для изготовления волноводов и схем интегральной оптики. — Зарубежная радиоэлектроника, 1978, № 1, с. 81—98.
- [3] *Katenkamp U., Karge H., Prager R.* Radiation Defects and Optical Properties of Ion Implanted Silicon Dioxide. — Rad. Eff., 1980, v. 48, № 1, p. 31—34.
- [4] *Webb A. P., Townsend P. D.* Refractive Index Profiles Induced by Ion Implantation into Silica. — J. Phys. D: Appl. Phys., 1976, v. 9, № 9, p. 1343—1354.
- [5] *Герасименко Н. Н., Цейтлин Г. М.* Механизм изменения оптических свойств кварцевого стекла при облучении ионами бора. — Физ. и хим. стекла, 1981, т. 7, № 5, с. 595—600.
- [6] *Климашина Е. В., Чистосердов В. Г., Прозоровская Н. В.* Свойства легированных кварцевых стекол с избирательным поглощением. — В кн.: Физико-химические исследования структуры и свойств кварцевого стекла. М., 1974, в. 1, с. 71—77.
- [7] *Брезовский С. М., Викторова Ю. Н., Ланда Л. М.* Радиационные эффекты в стеклах. М.: Энергоиздат, 1982. 184 с.

Институт физики АН БССР
Могилевское отделение

Поступило в Редакцию
11 апреля 1984 г.
В окончательной редакции
4 декабря 1984 г.