

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ В ВЫСОКОИОНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ НА СТРУКТУРУ И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОННООБМЕННЫХ ВОЛНОВОДОВ В LiNbO₃ X-СРЕЗА

О.Н. ПИЛЮГИНА*, А.Б. ВОЛЫНЦЕВ*, У.О. САЛГАЕВА**, Д.И. СИДОРОВ**, С.С МУШИНСКИЙ**, В.И. КИЧИГИН*, И.В. ПЕТУХОВ*

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, Букирева, 15

**ОАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», 614990, Пермь, 25 Октября, 10

В работе представлены результаты исследования структуры и оптических характеристик протоннообменных волноводов, подвергшихся обработке в высокоионизированной среде.

Оптические волноводы являются основным компонентом интегрально-оптических систем (ИОС) на основе ниобата лития (НЛ) [1]. В последнее время уделяется большое внимание улучшению характеристик оптических волноводов в связи с необходимостью повышения чувствительности ИОС и точности измерений, осуществляемых с их помощью. Для улучшения характеристик оптических волноводов используются комбинированные методы: создание гибридных волноводов [2], протонный обмен (ПО) с последующим отжигом и ионная имплантация [3, 4]. Гибридные волноводы способны поддерживать распространение света как одной поляризации, так и обеих поляризаций. Это необходимо при производстве ряда базовых элементов интегральной оптики. Диффузия протонов после ПО способствует улучшению характеристик канала и снижению оптических потерь в нем. Ионная имплантация ПО волновода способствует заглублению канала, но в виду того, что имплантируемые частицы обладают огромными энергиями (10-2000 кэВ), они существенно повышают дефектность структуры волновода, тем самым разрушают его. Перспективным методом улучшения характеристик волновода может служить и обработка ПО волноводов в высокоионизированной среде (плазме).

Целью проведенных экспериментов является исследование влияния обработки в высокоионизированной среде различного состава на структурные и оптические характеристики ПО волноводов в LiNbO₃.

Для изготовления образцов волноводных слоев были использованы пластины X-среза НЛ (конгруэнтного состава). Эти пластины были разрезаны на образцы размером 10×15×1 мм³ [1]. После этого они были тща-

тельно отчищены в парах изопропилового спирта в течение 10 минут. После все образцы были подвергнуты ПО в закрытом металлическом реакторе в бензойной кислоте при температуре 174°C. Затем ПО образцы были промыты в изопропиловом спирте и отжигались при 354°C в течение 5 часов на воздухе. Далее все образцы, кроме исходного, были подвергнуты обработке плазмой и дополнительному отжигу.

Сформированные ПО волноводы подверглись обработке в плазме (табл. 1) с помощью установки магнетронного травления НИКА-2010.

Таблица 1. Режимы обработки в плазме ПО волноводов

	Обр. 1	Обр.2	Обр. 3
Вид плазмы	O ₂	H ₂	H ₂ +O ₂
Смещение на стол, Вт	50	100	100
Расход газа (л/час)	3	6	6 O ₂ ; 3 H ₂
Антенна, Вт	800	800	800
Время процесса, с	600	900	900

Оптические характеристики исходного и обработанных образцов исследовались с помощью модовой спектроскопии. Для исследования изменений фазового состава образцов был использован метод дифракционного структурного анализа [1], позволивший с высокой точностью проследить изменения в структуре образцов, подвергшихся обработке в плазме.

Результаты модовой спектроскопии представлены в табл. 2. По графикам зависимости профиля приращения показателя преломления от толщины волноводного слоя (рис. 1-2) видно, что после обработки образцов плазмой контрастность волноводного слоя понизилась, увеличилась глубина волноводного слоя. При исследовании образца-2, подвергшегося обработке в водородной плазме мод не было обнаружено. Данный эффект в настоящей работе не был изучен.

Таблица 2. Оптические характеристики волноводов

Образцы	Δn_{\max}	d, мкм
Исходный	0,023	4,9
О-плазма	0,015	6,4
H+O плазма	0,016	6,5
Исходный после доп. отжига	0,012	8,1
О-плазма после доп. отжига	0,0085	7,8
H+O плазма после доп. отжига	0,0093	8,0

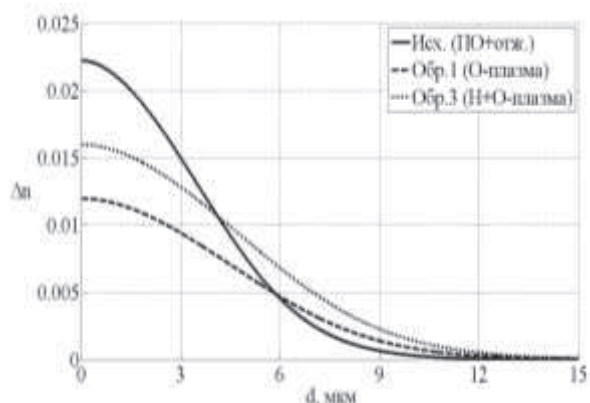


Рис. 1. Зависимость профиля приращения показателя преломления от толщины волноводного слоя $\Delta n(d)$ образцов до дополнительного отжига

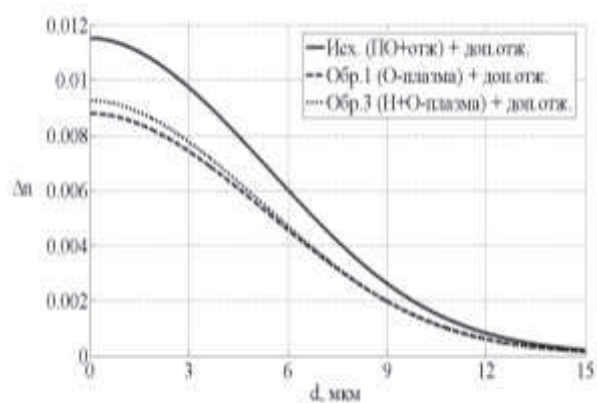


Рис. 2. Зависимость профиля приращения показателя преломления от толщины волноводного слоя образцов после дополнительного отжига

Исследования структуры по кривым качания (ω -кривые) не выявили существенных дефектов волноводного слоя после обработки в плазме (рис. 3-4). Монокристалличность образцов не нарушается. Однако заметно сужение $\theta/2\theta$ кривых (рис. 5-6).

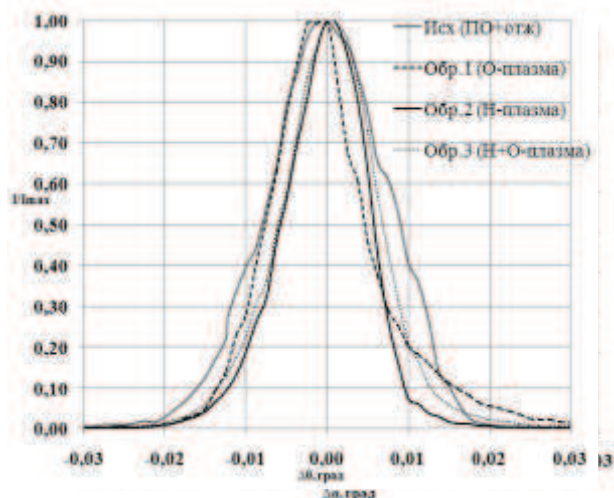


Рис. 5. $\theta/2\theta$ кривые, снятые с образцов до дополнительного отжига, 1-й порядок отражения от плоскости (110)

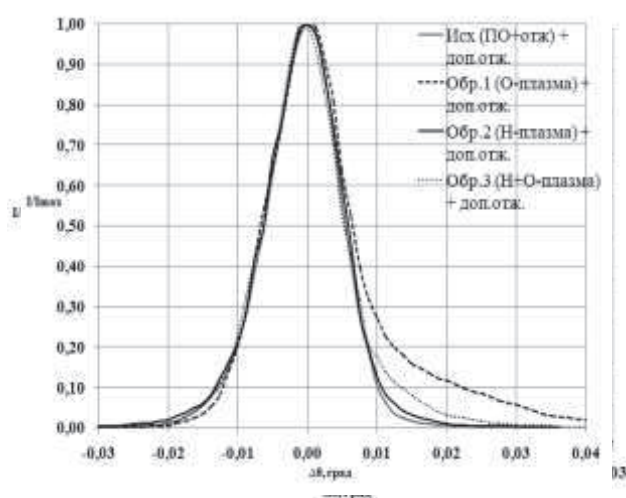


Рис. 6. $\theta/2\theta$ кривые, снятые с образцов после дополнительного отжига, 1-й порядок отражения от плоскости (110)

В результате проведения серии экспериментов было установлено, что обработка образцов в плазме не нарушает структуру волноводов, вследствие чего деформации в структуре не увеличиваются. Заметно снижение контрастности волноводов, а также увеличение волноводного слоя образцов, подвергшиеся обработке в плазме. Таким образом, обработкой плазмой можно влиять на оптические характеристики волноводов, не нарушая его структуру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шевцов Д.И.* Структурные и оптические свойства метастабильных фаз в протонообменных волноводных слоях на монокристалле ниобата лития. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Пермь, 2005. 167 с.
2. *Bentini G.G., Bianconi M., Chiarini M., Correr L.* Effect of low dose high energy O^{3+} implantation on refractive index and linear electro-optic properties in X-cut $LiNbO_3$: Planar optical waveguide formation and characterization // *J. Appl. Phys.*, Vol. 92, No. 11, 2002. P. 6477–6483.
3. *Tianhao S., Xinyuan J., Zhengquan X., Xiqi F.* Lattice disorder, refractive index changes and waveguides in $LiNbO_3$ formed by H^+ -implantation // *Materials Science and Engineering*, B I 8, 1993.P. 83–87.
4. *Zhang S.-M., Wang K.-M., Liu X., Bi Z., Liu X-H.* Planar and ridge waveguides formed in $LiNbO_3$ by proton exchange combined with oxygen ion implantation // *J. Optics Express.*, Vol. 18, No. 15.P.15609–15617.