

ВЛИЯНИЕ ПРЕДОТЖИГА ПЛАСТИН НИОБАТА ЛИТИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОНООБМЕННЫХ ВОЛНОВОДОВ

В. А. Юрьев, А. Б. Волынцев

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

Рассмотрены причины формирования приповерхностного дефектного слоя в пластинах ниобата лития и его влияние на характеристики планарных волноводов. Предложены способы понижения плотности дефектов и методы исследования структуры волновода. Выявлено, что исследуемые характеристики образцов зависят от температуры предварительного отжига. Показан аналогичный характер температурной зависимости изменения величины деформации приповерхностного слоя и приращения показателя преломления необыкновенного луча.

Ключевые слова: ниобат лития; протонобменные волноводы; предварительный отжиг; модовая спектроскопия; рентгеноструктурный анализ

EFFECTS OF PRELIMINARY ANNEALING OF LITHIUM NIOBATE WAFERS ON PROTON-EXCHANGED WAVEGUIDES PROPERTIES

V. A. Yur'ev, A. B. Volyntsev

Perm State University, Bukireva St. 15, 614990, Perm

This papers shows the reasons for formation of sub-surface defect layer in lithium niobate wafers and it's effect on properties of planar waveguides. Possible methods of lowering the defects concentration are reviewed, as well as some measuring techniques. All measured parameters show dependency from pre-annealing temperature. Also revealed correlation between residual stress in wafer surface and refractive index of extraordinary ray.

Keywords: lithium niobate; proton-exchanged waveguides; preliminary annealing; mode spectroscopy; x-ray diffraction analysis

В настоящее время ниобат лития является одним из самых часто применяемых материалов для создания интегрально-оптических схем и элементов. Показано [1, 2], что в процессе производства пластин НЛ происходит формирование области с повышенной, по отношению к остальному объёму кристалла, плотностью дислокаций. Данную область называют приповерхностным дефектным слоем. В случае, когда волновод частично или полностью находится в дефектном слое, повышенная плотность дислокаций может повлиять на процессы обмена, приводя к неоднородности структуры волновода. Это влечёт за собой отсутствие воспроизводимости результатов работы интегрально-оптической схемы, что является недопустимым в массовом производстве.

Кристаллы ниобата лития, используемые в интегральной оптике, поставляются в виде тонких пластин, поверхность которых отполирована до оптического качества. В процессе их производства монокристаллическая буля нарезается на отдельные пластины, которые подвергаются многостадийной химико-механической полировке [3, 4]. В ходе механической обработки вблизи поверхности кристалла неизбежно возникают слои с нарушенной структурой и повышенным содержанием дефектов [4]. В процессе полировки с последовательным уменьшением размера частиц абразива дефектные слои могут быть скрыты под гладким поверхностным слоем оптического качества.

В качестве метода снижения плотности дефектов в приповерхностном слое был предложен предварительный отжиг. Группы образцов были отожжены в атмосфере воздуха в диапазоне температур от 400 до 600 °С с шагом 50 °С. Данный диапазон обусловлен областью стабильного состояния решётки, так как при нагреве кристалла выше 600 С происходит формирование кислородных вакансий. Затем на поверхности образцов методом протонного обмена были сформированы планарные волноводы. Режим протонного обмена: $T = 178\text{ °С}$, 2 часа. Отжиг после протонного обмена: $T = 354\text{ °С}$, 6.5 часов.

Полученные образцы были исследованы методами модовой спектроскопии и рентгено-структурного анализа. В ходе работы было выявлено, что все исследуемые характеристики образцов зависят от температуры предварительного отжига. Интерес представляет аналогичный характер изменения величины деформации приповерхностного слоя (рис. 1) и приращения показателя преломления необыкновенного луча (рис. 2) с ростом температуры предотжига.

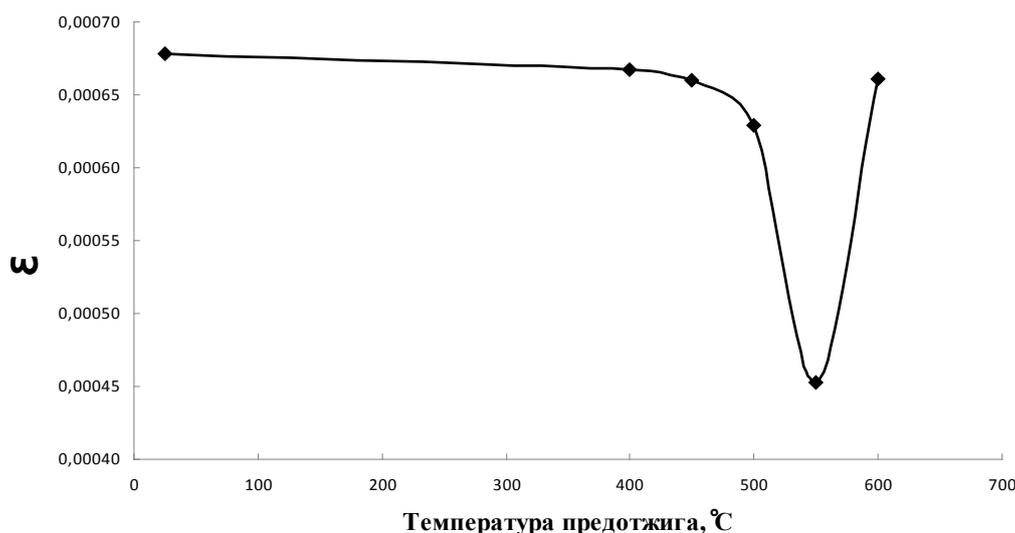


Рис. 1. Зависимость средней деформации дефектного слоя от температуры предотжига

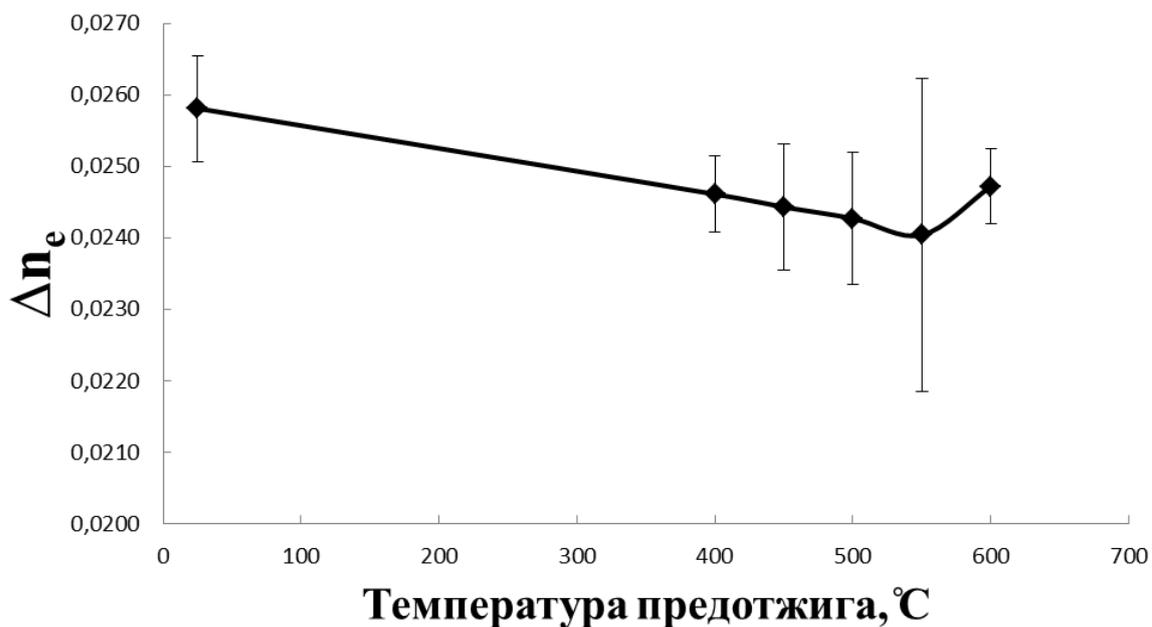


Рис. 2. Зависимость приращения показателя преломления от температуры предотжига

Мы видим, что более равновесная структура кристалла несколько замедляет процесс протонного обмена, приводя к снижению оптических характеристик волновода. Однако, данное снижение весьма незначительно, в то время как величина напряжений уменьшается почти в два раза. Таким образом при предварительном отжиге с $T=550^{\circ}\text{C}$ мы получаем волновод со значительно меньшей величиной внутренних остаточных напряжений, обладающий необходимыми нам оптическими характеристиками и работающий в одномодовом режиме.

Список литературы

1. Сосунов А. В., Пономарев Р. С., Юрьев В. А., Вольницев А. Б. Влияние структуры и механических свойств приповерхностного слоя монокристалла ниобата лития на процесс производства интегрально-оптических схем // Автометрия. 2017. Т. 53. № 1. С. 100–106
2. Sosunov A. V., Volyntsev A. B., Tsiberkin K. B., Yuriev V. A., Ponomarev R. S. Features of structure and mechanical properties LiNbO_3 // Ferroelectrics. 2017. Vol. 506. N 1. P. 24–31.
3. Minakata M. LiNbO_3 optical waveguide devices // Electronics and Communications in Japan (Part II: Electronics). 1994. Vol. 77. N. 11. P. 37–51.
4. Jungerman R. L. et al. High-speed optical modulator for application in instrumentation // Journal of Lightwave Technology. 1990. Vol. 8. N. 9. P. 1363–1370.