

07;12
©1995

ЭФФЕКТ АНОМАЛЬНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПРИ ОТЖИГЕ ПРОТОНООБМЕННЫХ ВОЛНОВОДОВ В LiNbO_3

Ю.Н.Коржишко, В.А.Федоров

Протонный обмен [1] в силу простоты изготовления и высокого качества волноводов становится в последнее время, наряду с диффузией титана из пленок, широко распространенным методом формирования волноводных структур в кристаллах ниобата и танталата лития.

В работах [2,3] сообщалось, что механические напряжения, появляющиеся в протоннообменных LiNbO_3 световодах из-за несоответствия параметров решетки слоя $\text{H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$ и подложки LiNbO_3 , значительно модифицируют фазовую диаграмму $\text{HNbO}_3\text{-LiNbO}_3$, построенную авторами работ [4,5] для порошков. Так, в работе [2,3] путем оптических и рентгеновских исследований была установлена возможность существования по крайней мере шести различных кристаллических фаз $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \zeta$ и $\eta\text{-H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$ в H:LiNbO_3 световодных слоях. В зависимости от условий получения световодов они могут содержать одну или две фазы. В последнем случае $\text{H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$ фазы оформляются в виде двух последовательных слоев. Последние исследования показали, что область существования волноводов с приращениями показателей преломления $\Delta n_e < 0.07$, принимавшаяся в работах [2,3] за α -фазу, на самом деле неоднородна и состоит из двух кристаллических фаз [6,7].

В данной работе исследуется влияние постобменного отжига при температуре 330°C на свойства протоннообменных световодов в LiNbO_3 , содержащих δ -фазу $\text{H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$. Такие волноводы формируются путем протонного обмена в ряде широко известных расплавов, например бензойной кислоты.

В экспериментах использовались пластины LiNbO_3 X- и Z-срезов. В качестве источника протонов использовались расплав чистой бензойной кислоты и раствор KHSO_4 в глицерине.

Профили показателей преломления (ПП) по глубине определялись по спектрам эффективных показателей преломления волноводных мод на длине волны $\lambda = 633$ нм, используя алгоритмы, предложенные в работах [8,9].

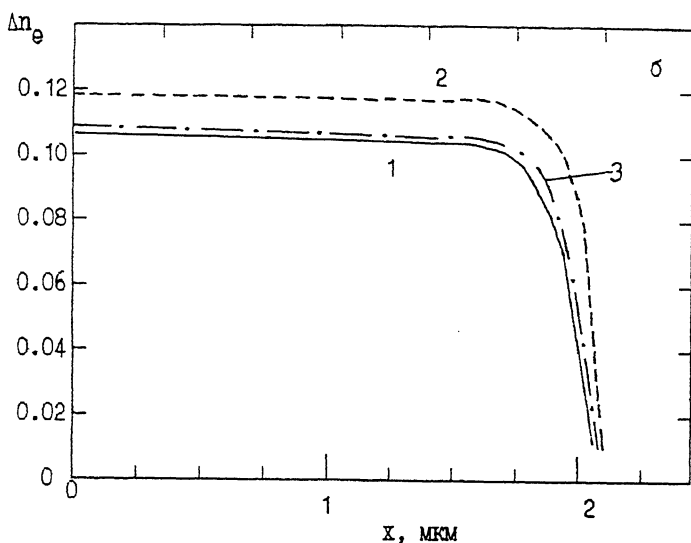
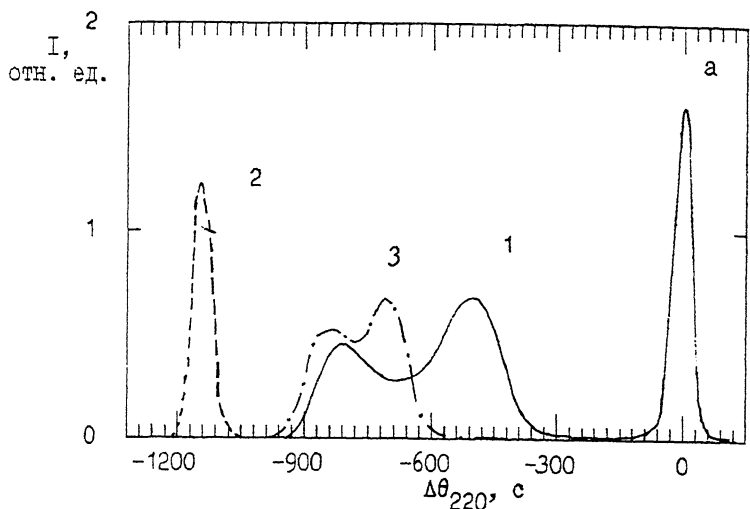


Рис. 1. Изменение кривых качания (а) и профилей показателя преломления (б) в H:LiNbO_3 волноводе на X -срезе, полученном в расплаве бензойной кислоты при $T = 245^\circ\text{C}$. 1 — исходный волновод, 2 — отжиг при 330°C в течение 15 минут, 3 — постотжиговое хранение в течение 10 дней.

Для определения компонент тензора деформаций использовался оригинальный метод, изложенный в работе [10]. Метод основан на анализе кривых дифракционного отражения (КДО) от различных кристаллографических плоскостей. КДО записывались на двукристалльном дифрактометре ДРОН-3 (излучение $\text{CuK}_{\alpha 1}$, монохроматор $\text{Si}(311)$).

Обнаружено, что $\text{H}:\text{LiNbO}_3$ волноводы на X - и Z -срезах имеют только одну ненулевую компоненту ε''_{33} тензора деформаций в так называемой "технологической" системе координат с осью $3''$, перпендикулярной поверхности пластины, и взаимно перпендикулярными осями $1''$ и $2''$, лежащими в ее плоскости.

На рис. 1 представлено изменение профилей ПП (рис. 1, б) и кривых качания (рис. 1, а) $\text{H}:\text{LiNbO}_3$ волновода, полученного в расплаве бензойной кислоты после кратковременного отжига и последующего хранения на воздухе.

Динамика изменения деформаций кристаллической решетки и приращения показателя преломления относительно подложки представлена на рис. 2. Видно, что кратковременный отжиг приводит к возрастанию показателя преломления с $\Delta n_e = 0.108$ до $\Delta n_e = 0.119$ и увеличению деформаций от $\varepsilon''_{33} = 3.3 \cdot 10^{-3}$ до $\varepsilon''_{33} = 7.3 \cdot 10^{-3}$. При этом двухслойная структура, содержащая верхний слой фазы $\delta\text{H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$ (меньшие деформации) и подслой $\gamma\text{-H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$, трансформируется в однослойный $\gamma\text{-H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$ волновод.

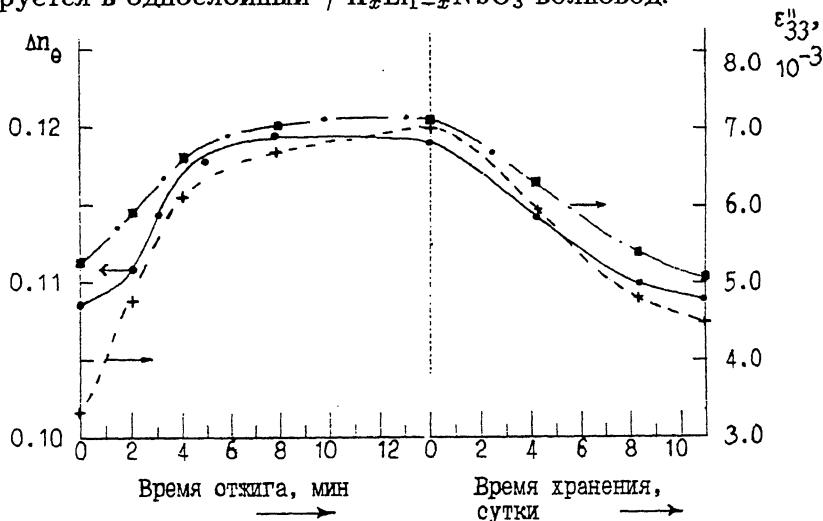


Рис. 2. Зависимость деформаций 1 и показателя преломления 2 на поверхности волновода от времени отжига при 330°C и от времени последующего хранения на воздухе. (+) — деформации ε''_{33} на поверхности, ■ — деформации ε''_{33} во втором слое.

Однако полученная структура является метастабильной. Как видно (рис. 1, 2), при последующем хранении на воздухе ПП уменьшается и достигает значения ПП исходного протонообменного волновода $\Delta n_e = 0.108$. Однородный волновод снова превращается в двухслойный. Можно видеть, что рассмотренный постобменный отжиг, так же как и последующее хранение, не приводят к заметному изменению толщины волноводов.

Аналогичные эффекты были обнаружены при отжиге H:LiNbO_3 волноводов, содержащих δ -фазу $\text{H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$ на Z -срезу LiNbO_3 .

Обнаруженный эффект объясняется следующим образом. Вероятно, концентрационная граница между δ и γ - $\text{H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$ фазами существенно зависит от температуры. В процессе протонного обмена в расплаве бензойной кислоты при температуре 245°C концентрация протонов такова, что равновесным условиям отвечает образование δ -фазы на поверхности волновода. При отжиге кратковременное увеличение температуры не уменьшает концентрацию протонов вследствие диффузии вглубь кристалла, однако приводит к структурному фазовому переходу $\delta \rightarrow \gamma$ в $\text{H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$ твердых растворах. В процессе постотжигового хранения структура релаксируется в равновесное исходное состояние.

Данная работа проводилась в рамках выполнения совместного гранта Международного Научного Фонда, Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства России N J8N100.

Список литературы

- [1] Jackel J.L., Rice C.E., Veselka J.J. // Appl. Phys. Lett. 1982. V. 41. P. 607-608.
- [2] Fedorov V.A., Korkishko Yu.N. // Proc. SPIE. 1994. V. 2291. P. 243-254.
- [3] Fedorov V.A., Korkishko Yu.N. // Proc. SPIE. 1995. V. 2401. P. 243-254.
- [4] Rice C.E., Jackel J.L. // Mat. Res. Bull. 1984. V. 19. P. 591-597.
- [5] Rice C.E. // J. Solid State Chemistry. 1986. V. 64. P. 188-199.
- [6] Korkishko Yu.N., Fedorov V.A., Katin S.V., Kondrat'ev // Proc. 7-th European Conference on Integrated Optics. Delft, The Netherlands, 1995. P. 395-398.
- [7] Korkishko Yu.N., Fedorov V.A., Katin S.V. et al. // Proc. SPIE. 1995. V. 2401. P. 149-161.
- [8] White J.M., Heidrich P.F. // Appl. Optics. 1976. V. 15. P. 151-155.
- [9] Chiang K.S. // J. Lightwave Technol. 1985. V. 3. P. 385-391.
- [10] Fedorov V.A., Ganshin V.A., Korkishko Yu.N. // Phys. status solidi (a). 1993. V. 135. N 2. P. 493-505.