

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРОВАННОЙ ДИФФУЗИИ ПРОТОНОВ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ

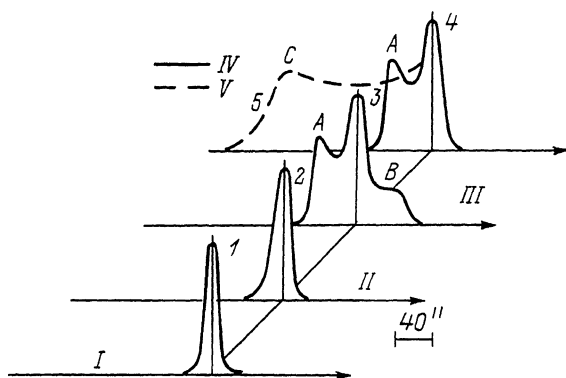
В.М. А б у с е в, Е.И. К у х а р е в а,  
А.А. Л и п о в с к и й, Л.Г. Х о х а

Оптические волноводы, формируемые с помощью протонного обмена в ниобате лития, привлекают в последние годы все большее внимание разработчиков интегрально-оптических устройств [1, 4]. Это связано с высокой лучевой прочностью таких волноводов и значительными ( $\sim 0.12$ ) перепадами показателя преломления, обеспечиваемыми протонным обменом. Технология низкотемпературного протонного обмена достаточно проста и не отличается от процесса формирования ионообменных световодов в стеклах.

Значительное расширение возможностей ионообменной диффузии в стеклах было достигнуто за счет применения электростимулированной миграции ионов, позволяющей в широких пределах варьировать параметры формируемых образцов [3]. Ранее была предпринята попытка формирования в ниобате лития протонообменных световодов в электрическом поле [2], однако заметного успеха она не принесла. Это связано с тем, что использованный авторами работы [2] в качестве источника протонов расплав не был проводящим, вследствие чего и положительный и отрицательный электроды из металлической пленки были размещены на рабочей поверхности образца.

В рамках настоящей работы нами была предпринята попытка формирования световодов в ниобате лития с помощью электростимулированной диффузии протонов при использовании в качестве источника диффузанта проводящего расплава  $KHSO_4$  [5].

При проведении экспериментов рабочая поверхность предварительно отожженных образцов приводилась в контакт с проводящим расплавом кислого сульфата калия ( $T^0 = 280^\circ C$ ), образец удерживался частично погруженным в расплав с помощью вакуумной системы. В качестве отрицательного электрода использовалась алюминиевая пленка, нанесенная на нерабочую поверхность образца, положительный электрод был подсоединен к платиновому тиглю, в котором содержался расплав. После подачи управляющего напряжения подложка с помощью манипулятора опускалась вплоть до касания расплава рабочей поверхностью, в момент касания в цепи шел электрический ток. В процессе диффузии с помощью интегратора тока контролировалось количество прошедшего электричества, т. е. суммарный заряд  $Q$ . Управляющее напряжение составляло около 500 В при толщине подложки 3 мм, средняя величина тока при площади подложки  $4.5 \text{ см}^2$  составила  $\sim 1.5 \text{ мА}$  (величина тока уменьшалась в процессе обработки), что при времени обработки 4.5 мин соответствовало величине суммарного заряда  $Q = 0.4 \text{ К}$ . Параллельно



Трансформация кривой качания в процессе обработки  $LiNbO_3$  -подложки. I - исходный образец, II отжиг, III - диффузия титана, IV - спонтанная диффузия протонов, V - электростимулированная диффузия протонов.

проводилось изготовление контрольных образцов, при том же (4.5 мин) времени контакта рабочей поверхности с расплавом электрическое поле не прикладывалось. В экспериментах использовались подложки X и Z-срезов ниобата лития. Во избежание растравливания поверхности в подложке X-среза проводилась предварительная высокотемпературная диффузия титана из нанесенной пленки металлического титана. После изготовления образцы подвергались стабилизирующему отжигу [5].

Нами проводился рентгеноструктурный анализ приповерхностного слоя сформированных образцов, а также измерялись спектры эффективных показателей преломления волноводных мод.

Исследование структурного совершенства приповерхностного слоя подложек выполнялось с помощью рентгеновского дифрактометра типа ДРОН УМ-1 (монохроматор  $Si(400)$ ,  $CuK\alpha$  излучение) по двухкристальным кривым качания образца от плоскости (300) - X-срез - и плоскости (0.0.12) - Z-срез. Рисунок иллюстрирует эволюцию кривых качания в процессе обработки образцов. Предварительный отжиг  $LiNbO_3$  -подложки приводит к некоторому уширению кривой качания образца и увеличению ее индекса асимметрии (кривая 2). Эффект наблюдается на обоих исследованных срезах и связан, вероятно, с экзодиффузией  $Li_2O$  из  $LiNbO_3$ . Дефицит атомов лития в приповерхностном слое приводит к искажению параметра решетки слоя (в слое возникают растягивающие напряжения, направленные как вдоль оси C, так и перпендикулярно этому направлению). Диффузия титана в X-срез монокристалла ниобата лития приводит к формированию на кривой качания двух дополнительных пиков справа и слева от основного максимума (кривая 3). Это указывает на формирование в монокристалле деформированных слоев с растягивающими (пик A) и сжимающими (пик B) напряжениями.

Слой с растягивающими напряжениями ( $\frac{\Delta d}{d} 100\% = 0.05\%$ ) формируется в результате экзодиффузии  $Li_2O$ , имеющей место в процессе высокотемпературной диффузии титана. Слой со сжимающими напряжениями ( $\frac{\Delta d}{d} 100\% = 0.05\%$ ) образуется за счет легирования монокристалла ниобата лития титаном [5]. Поскольку глубина выхода не совпадает с глубиной проникновения титана в ниобат лития, указанные напряжения не могут скомпенсировать друг друга.

Обработка подложек в расплаве  $KHSO_4$  без приложения электрического поля приводила к снятию сжимающих напряжений в слое  $Ti:LiNbO_3$  (X-срез), см. кривую 4. При этом растягивающие напряжения, сопровождающие протонно-литиевый обмен, полностью компенсируются сжимающими напряжениями, вызванными диффузией титана, на что указывает исчезновение пика В на кривой качания образца и отсутствие каких-либо изменений кривой качания со стороны, соответствующей деформации растяжения.

Обработка подложки в расплаве  $KHSO_4$  с приложением электрического поля, также как и обработка без поля, приводит к полному снятию напряжений сжатия в слое  $Ti:LiNbO_3$  (пик В на кривой качания исчезает), см. кривую 5. Кроме этого, в отличие от спонтанного процесса диффузии, в приповерхностной области монокристалла формируется слой  $H:LiNbO_3$ , характеризующийся деформацией растяжения с более существенным изменением параметра кристаллической решетки ( $\frac{\Delta d}{d} 100\% = 0.12\%$ ), чем в области, обедненной литием за счет экзодиффузии – пик С. Наблюдаемые отличия связаны, по-видимому, с более интенсивным проникновением протонов в ниобат лития при приложении электрического поля. Это приводит, во-первых, к более высокой концентрации протонов в сформированном световоде, во-вторых, к увеличению глубины их проникновения в подложку.

Эти выводы подтверждаются результатами исследования модовых спектров сформированных за счет протонной диффузии оптических волноводов – образцы, обработанные с приложением электрического поля, могли каналировать существенно большее число собственных мод. Восстановление профиля показателя преломления волноводов позволило сделать вывод о большей глубине электродиффузионных световодов по сравнению с термодиффузионными, максимальное изменение показателя преломления во всех случаях составляло  $\sim 0.12$ . Перед проведением измерений образцы подвергались стабилизирующему отжигу. Эффективные показатели преломления мод оптических волноводов определялись на основе измерений углов возбуждения мод оптического волновода при призмном вводе излучения (рабочая длина волны зондирующего излучения  $\lambda = 0.63$  мкм). Для ввода использовались призмы из фосфида галлия.

Таким образом, проведенные исследования продемонстрировали возможность формирования в ниобате лития оптических волноводов с помощью электростимулированной диффузии протонов. Приложение

электрического поля позволяет увеличить как глубину диффузии, так и количество вошедших протонов.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] D e M i c h e l i M., B o t i n e a u J., S i b i l l o t P. et al // Opt. Commun. 1982. V. 42. N 2. P. 101-103.
- [2] P i t t C.W., B u r b i e G., W a n T a t. // Electron. Lett. 1987. V. 23. N 19. P. 987-989.
- [3] C h a r t i e r G.H., J a u s s a u d P., d e O l i v e i r a A.D., P a r r i a u x O. // Elect. ron. Lett. 1978. V. 14. N 5. P. 132-134.
- [4] D a w a r A.L., A l - S h u k r i S.M., d e L a R u e R.M. // Appl. Opt. 1986. V. 25. N 9. P. 1495-1498.
- [5] Г а н ь ш и н В.А., К о р к и ш к о Ю.Н., П е т р о в а В.З. // ЖТФ. 1988. Т. 58, в. 6. С. 1122-1127.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе  
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию  
9 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 5  
0.2; 05.2

12 марта 1989 г.

### СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛОСОВЫХ ДОМЕНОВ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ОТЖИГА

С.Е. Ю р ч е н к о, Е.Е. Ч е п у р о в а,  
В.Д. Х о д ж а е в, И.П. И е р у с а л и м о в

В последнее время возрос интерес к физическим явлениям, стимулирующим разработку запоминающих устройств с высокой плотностью записи (до  $10^9$  бит/см<sup>2</sup>), носителями двоичной информации в которых являются пары вертикальных блоховских линий (ВБЛ), а накопительными регистрами служат полосовые домены (ПД), находящиеся в устойчивом состоянии.

Для создания накопительного массива в устройствах с ВБЛ необходима стабилизация ПД, обычно осуществляемая с помощью формирования в феррит-гранатовых (ФГ) пленках магнитного рельефа. Можно указать несколько способов стабилизации ПД [1-3]: с помощью локальной ионной имплантации, напыления тонких пленок с высокой коэрцитивной силой, травления канавок определенных размеров и др. Особого внимания (из-за высокой технологичности и обеспечения планарности слоев) заслуживает метод лазерного отжига (ЛО), позволяющий, как показано в [4], локально изменять магнитные свойства ЛО областей ФГ пленок и тем самым создавать