

УДК 621.373

ВЛИЯНИЕ СКВАЖНОСТИ ФОТОШАБЛОНА НА ФОРМИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТНОГО PPLN

Галуцкий В. В., Кузора В. Ф., Строганова Е. В., Шмаргилов С. А.,
Яковенко Н. А.

THE INFLUENCE OF THE DUTY RATIO OF THE PHOTOMASK FOR THE FORMATION OF A GRADIENT PPLN

Galutskiy V. V., Kuzora V. F., Stroganova E. V., Shmargilov S. A., Yakovenko N. A.

Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia
e-mail: stroganova@phys.kubsu.ru

Abstract. For experimental studies of the formation of the domain structure in lithium niobate gradient was used oriented crystalline plate thickness up to 1.5 mm (the so-called z-cut, i.e. the chosen axis of the crystal perpendicular to the plane of the plate).

To study the effect of duty ratio of the photomask and the system of liquid electrodes on process of formation of regular domain structures in gradient plates of lithium niobate was used a photomask in the form of eight lanes with a width of 500 μm , length 2.5 cm, total period of 30 μm and a duty cycle between 0.2 and 0.8. Analysis of the pulse shape of repolarization and the electrical current flowing in the polling and analysis of domains after etching in acid mixtures showed that the presence of a composition gradient in the crystal plates of lithium niobate optimum combination of duty cycle in the photomask is between 0.3 to 0.4. With these values of duty cycle tracks the photomask in the gradient plates of lithium niobate significant and massive violations of the period of the domain structure, due to the different speeds of growth of domain walls depending on the composition, is not observed.

Keywords: lithium niobate, regular domain structure, polarization, duty cycle.

Использование регулярных доменных структур в сегнетоэлектриках создает широкие возможности для преобразования и управления излучения. Дополнительное использование плавно изменяющегося показателя преломления нелинейного кристалла в двулучепреломлении приводит к расширению потенциальных возможностей PPLN (Periodically Poled Lithium Niobate) преобразователей в обработке оптических сигналов [1, 2].

Проведенные ранее исследования по зависимости степени регулярности доменной структуры от состава пластины градиентного ниобата лития при одной величине коэци-

тивного поля [3] показали удовлетворительный результат. Дальнейший поиск технологических приемов изготовления высокоэффективных градиентных PPLN преобразователей связан с исследованием скоростей роста доменных стенок в градиентных образцах ниобата лития. Исследования скоростей роста доменных стенок проводились только для образцов ниобата лития постоянного конгруэнтного или стехиометрического составов [4]. Наличие градиента примеси, например, в виде центров «ниобий в позиции лития», может приводить к различной локальной скорости роста доменных стенок, что, в свою очередь, сказывается на степени регулярности домен-

Галуцкий Валерий Викторович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: galutskiy17v@mail.ru

Кузора Виталий Федорович, аспирант кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: kuzorav@gmail.com

Строганова Елена Валерьевна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: stroganova@phys.kubsu.ru

Шмаргилов Сергей Андреевич, аспирант кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: shmargilov.s.a@gmail.com

Яковенко Николай Андреевич, д-р тех. наук, профессор, зав.кафедрой оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: dean@phys.kubsu.ru

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ (16-48-230209 p_a) и 2014/75 НИР № 1291.

ной структуры и эффективности работы преобразователя. Целью данной работы является разработка и исследование технологических приемов оценки регулярности доменной структуры в градиентных пластинах ниобата лития для изготовления PPLN. Для достижения поставленной цели необходимо провести исследования интегральной эффективности скорости роста доменных стенок в зависимости от градиента состава пластин ниобата лития.

Работы по исследованию особенностей формирования доменов под воздействием коэрцитивного поля, создаваемого системой периодических электродов, проводились по следующим этапам: 1) предварительное тестирование однородности пластины; 2) создание периодической структуры электродов на поверхности градиентной пластины ниобата лития; 3) тестирование монодоменности исходной доменной структуры; 4) создание периодической доменной структуры.

При реализации всех этапов исследований использовались и применялись традиционные методы и методики изучения однородности пластин (ИК-спектроскопия ОН-групп), получение периодически поляризованных доменов (поллинг) и т.д. [3–5]. Однако наличие градиента состава в кристаллической пластине изменяет условия как формирования импульса переполаризации [3], так и формирование системы электродов на поверхности пластин с помощью вариации их скважности.

Для исследований локальной скорости роста доменных стенок в зависимости от состава пластины ниобата лития был изготовлен фотошаблон (рис.1), состоящий из 7 «дорожек» шириной 0,5 мм каждая и периодом следования темных и светлых полос 30 мкм. Длина дорожек составила 2,5 см и расстояние между дорожками 200 мкм. Каждая дорожка имела различную скважность от 0,2 до 0,8 с шагом 0,1 (под скважностью понимается отношение открытой части дорожки к периоду, где открытая часть дорожки подвергается воздействию электролита и потенциала переполаризации).

Объектами исследования в данной работе являлись пластины, вырезанные из градиентного ниобата лития [5] состава $R(\text{Li}/(\text{Li}+\text{Nb}))=0,97 \dots 0,99$ (рис. 2). Для определения величины коэрцитивного поля, необходимого для переориентации доменов, в каждой пластине ниобата лития проводилась ее

монодоменизация. На рис. 2б представлена пластина после приложения коэрцитивного поля по схеме, представленной в работе [3], и последующего травления в смеси азотной и плавиковой кислоты. Из-за разных скоростей травления «положительных» и «отрицательных» доменов видно (рис. 2б), что в исследуемом градиентном кристалле ниобата лития присутствуют крупные доменные блоки (центральная часть и кольца вокруг нее). В центре пластины (рис. 2б) домен темного цвета прерывается, что свидетельствует о монодоменизации участка.

После монодоменизации пластины на нее наносился слой фоторезиста толщиной 2 мкм. С помощью комплекса безмасочной фотолитографии « μPG101 » производилось экспонирование фотошаблона на фоторезист пластины градиентного ниобата лития. Результаты экспонирования представлены на рис. 3. Из рисунка видно, что дорожки с различной скважностью хорошо проэкспонировались и имеют контрастную окраску.

После экспонирования образцы пластин градиентных ниобата лития помещались в специальную герметичную камеру из плексигласа. В данной работе использовалась схема фотолитографии без металлического напыления и поверхностных электродов, поэтому внутрь камеры заливался электролит (раствор KCl в дистиллированной воде).

Для проведения переполаризации использовался разработанный стенд [2], состоящий из генератора импульсов AFG 3011C, высоковольтного усилителя AMP-20B20 и цифрового осциллографа TPS 2012B.

Формы применяемого импульса переполаризации и ток, вызванный переполаризацией сегнетоэлектрических доменов, представлены на рис. 4. Из рисунка видно, что формирование доменной структуры в пластинах градиентного ниобата лития может протекать по двум процессам: 1) соотношением фронта тока переполаризации с выходом импульса переполаризации на постоянную величину (рис. 4а); 2) наличием шумного сигнала тока переполаризации, совпадающего с пиковым значением прикладываемого внешнего электрического поля, приводящего к падению значения потенциала во время переполаризации (рис. 4б).

Форма потенциала в процессе переполаризации отображается на канале 1 в режиме пропускания постоянного и переменного уровня сигнала. Ток между двумя поверхно-

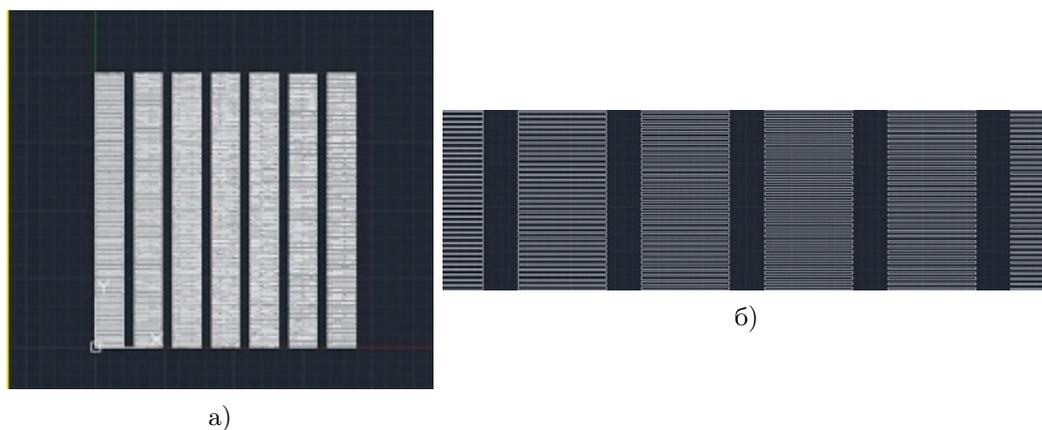


Рис. 1. Внешний вид используемого фотошаблона (а) и его части (б)

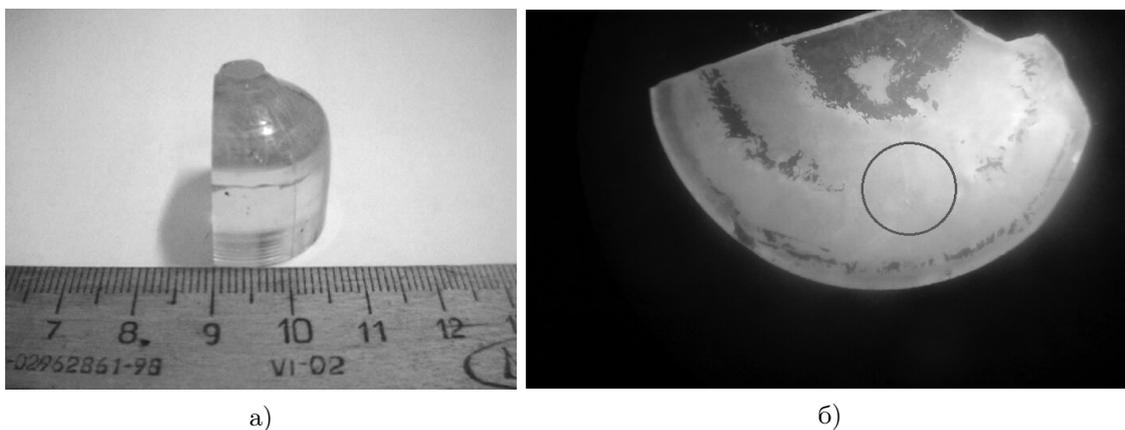


Рис. 2. Кристалл градиентного ниобата лития (а) и пластина после монодоменизации (область приложения коэрцитивного поля отмечена красным кружком) после травления в смеси кислот (б)

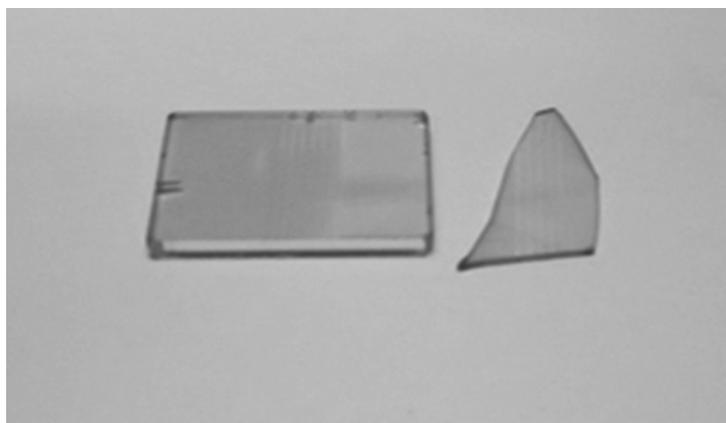


Рис. 3. Заготовки для PPLN покрытые фоторезистом через фотошаблон с разной скважностью

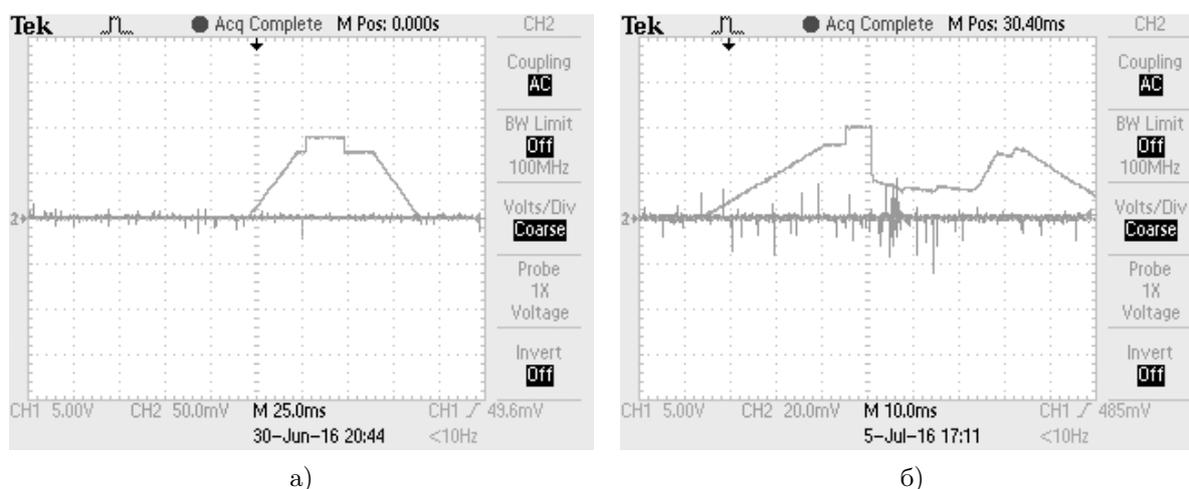


Рис. 4. Импульсы напряжения и тока переполаризации для градиентных пластин ниобата лития

стями пластины ниобата лития отображается на канале 2 в режиме пропускания только переменной составляющей сигнала (рис. 4а, 4б). Для процесса, изображенного на рис. 4а пиковый уровень потенциала переполаризации составил 18 кВ на толщине пластины 1,5 мм. На рис. 4б потенциал переполаризации составил 20 кВ на толщине пластины градиентного ниобата лития 1,5 мм. Из рис. 4а, 4б видно, что в первом случае ток переполаризации имеет очень малую величину и сравним с шумами при приближении к точке Кюри; во втором случае процесс переполаризации происходит с выраженным изменением тока, что свидетельствует об интенсивном росте доменов. Импульсы переполаризации подавались в одиночном режиме. Длительность импульсов составляла 100 мс, длительность пиковой части 25 мс.

После проведенной переполаризации доменов пластины травилась в смеси азотной и плавиковой кислоты. Результаты переполаризации доменов в кристаллических пластинах градиентного ниобата лития при различной скважности дорожек фотошаблона представлены на рис. 5.

В случае предельных значений показателей скважности (например, 0,2; 0,6; 0,7; 0,8) в дорожках на фотошаблоне наблюдается нерегулярность, которая выражается в нарушении периода следования доменов в пластинах из градиентного ниобата лития (рис. 5а). На рис. 5б представлен результат в виде периодического чередования доменов (темные и светлые полосы), полученный для значения скважности дорожки фотошаблона 0,3 при

толщине кристаллической пластины 0,6 мм и градиентном составе, изменяющемся от $R = 0,94$ до $R = 0,96$, где R — доля ионов лития к общему числу катионов в кристалле.

Таким образом, исследования зависимости качества доменов после травления в смеси кислот от формы импульсов переполаризации и электрического тока, протекающего при полинге, показал, что при наличии градиента состава в кристаллических пластинах ниобата лития оптимальное сочетание скважности в фотошаблоне составляет от 0,3 до 0,4. При данных значениях скважности дорожек в фотошаблоне в градиентных пластинах ниобата лития значительного и массового нарушения периода доменной структуры вследствие различных скоростей роста доменных стенок в зависимости от состава не наблюдается.

Литература

1. Galutskiy V.V., Stroganov E.V., Shmargilov S.A., Yakovenko N.A. Frequency conversion in compositionally graded PPLN crystals // Quantum Electronics. 2014. №44. No. 1. P. 30–33.
2. Wang Jian, Fu Hongyan, Geng Dongyu, Willner Alan E. Single-PPLN-assisted wavelength-/time-selective switching/dropping/swapping for 100-GHzspaced WDM signals // Optics Express. 2013. Vol. 21. No. 3. P. 3756–3774.
3. Галуцкий В.В., Строганова Е.В., Шмаргилов С.А., Цема А.А., Яковенко Н.А. Исследование параметров формирования доменной структуры в градиентном ниобате лития // Экологический вестник научных центров Черноморского научного сотрудничества. 2015. № 4. С. 37–42.
4. Шур В.Я., Румянцев Е.Л., Бачко Р.Г., Мил-

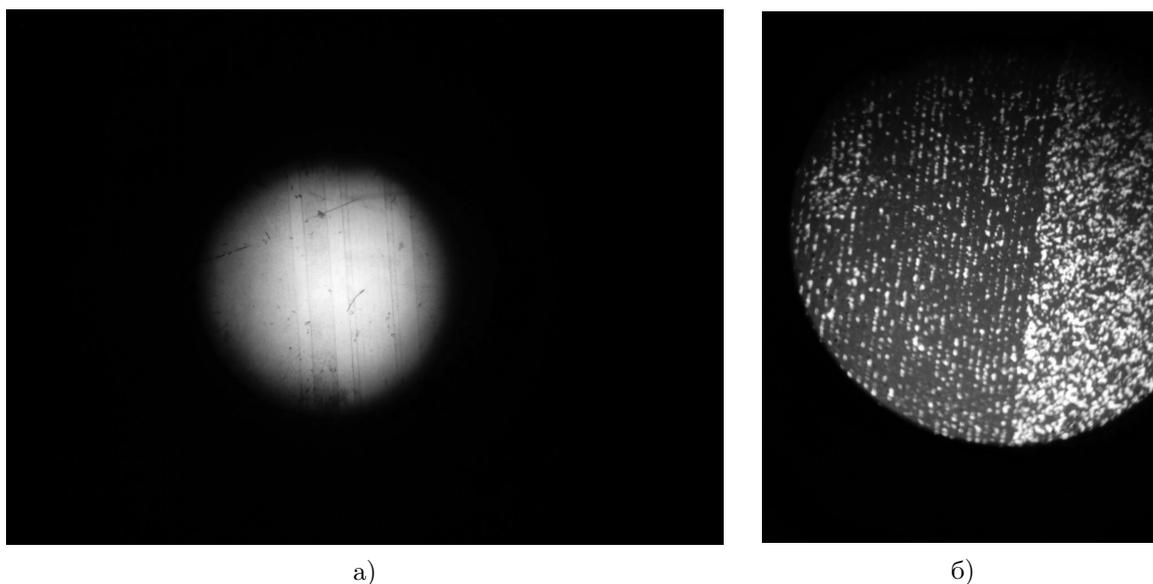


Рис. 5. Результат травления градиентных пластин ниобата лития с разной скважностью дорожек фотошаблона

лер Г.Д., Фейер М.М., Байер Р.Л. Кинетика доменов при создании периодической доменной структуры в ниобате лития // Физика твердого тела. 1999. Т. 41. № 10. С. 1831–1837.

- Galutskiy V.V., Vatlina M.I., Stroganova E.V. Growth of single crystal with a gradient of concentration of impurities by the Czochralski method using additional liquid charging // Journal of Crystal Growth. 2009. No. 311. P. 1190–1194.

References

- Galutskiy V.V., Stroganova E.V., Shmargilov S.A., Yakovenko N.A. Frequency conversion in compositionally graded PPLN crystals. *Quantum Electronics*, 2014, vol. 44, iss. 1, pp. 30–33.
- Wang Jian, Fu Hongyan, Geng Dongyu, Willner Alan E. Single-PPLN-assisted wavelength-/time-selective switching/dropping/swapping for 100-GHzspaced WDM signals. *Optics Express*, 2013, vol. 21, no. 3, pp. 3756–3774.
- Galutskiy V.V., Stroganova E.V., Shmargilov S.A., Tsema A.A., Yakovenko N.A. The research of parameters of formation of domain structure in lithium niobate with gradient of concentration. *Ecological bulletin of research centers of the Black sea economic cooperation*, 2015, no. 4, pp. 37–42. (In Russian)
- Shur V.Ya., Rumyantsev E.L., Batchko R.G., Miller G.D., Fejer M.M., Byer R.L. Domain kinetics in the formation of a periodic domain structure in lithium niobate. *Physics of the Solid State*, 1999, vol. 41, iss. 10, pp. 1681–1687. (In Russian)
- Galutskiy V.V., Vatlina M.I., Stroganova E.V. Growth of single crystal with a gradient of concentration of impurities by the Czochralski method using additional liquid charging. *Journal of Crystal Growth*, 2009, vol. 311, pp. 1190–1194.