

ФИЗИКА

УДК 548.5

Э. П. Коканян

**Особенности получения периодически поляризованных доменных структур в легированных кристаллах ниобата лития**

(Представлено чл.-кор. НАН РА Г.Ю. Крючкяном 18/IV 2009)

**Ключевые слова:** *ниобат лития, домен, переполаризация, фоторефракция*

**1. Введение.** Конструирование периодически поляризованных (ПП) доменов в сегнетоэлектрических материалах, таких как ниобат лития (LN), существенно расширило область их использования в нелинейно-оптических приложениях, основанных на квазифазовом синхронизме. Такие структуры обеспечивают надежный и многообещающий подход для разработки эффективных фотонных систем, основанных на генерации второй гармоники (ГВГ) в сине-зеленом спектральном диапазоне и в оптических параметрических осцилляторах (ОПО) [1-5]. Последние успехи в освоении различной техники в инженерии прерывисто-периодических и аperiodически поляризованных структур открыли дополнительные возможности для широкополосной и многоволновой ГВГ.

Возможность изменения частоты, поляризации, распространения оптических лучей крайне важна в квантовой электронике и фотонике. Параметрическая генерация гармоник добавляет возможность настройки лазерных источников и позволяет перекрыть когерентным излучением спектральные области и длительности импульсов, иначе запрещенные, позволяя таким образом разработать новые диагностики и аппаратуры.

С развитием методик создания ПП структур и областей их применения резко возрастают требования к исходному материалу, т.е. в данном случае к кристаллу LN. В первую очередь это отсутствие в ней фоторефрактивного эффекта, а также однородность, высокое оптическое качество кристалла и низкие значения проводимости.

В последние годы поиск новых нефоторефрактивных примесных ионов, которые используются для подавления в кристалле LN фоторефрактивного эффекта, увенчался успехом после нахождения ионов четырехвалентного гафния в качестве перспективной нефоторефрактивной примеси [6-10]. Несомненными преимуществами указанного иона, по сравнению с известными нефоторефрактивными примесными ионами и в первую очередь с широко используемым ионом магния, являются низкая пороговая концентрация (2-3 мол% вместо 5-6 мол% для MgO), что дает весомую перспективу получения кристалла высокого оптического качества, а также значение коэффициента распределения в кристалле в районе единицы, что гарантирует однородное распределение примеси в объеме кристалла.

**2. Экспериментальные результаты и обсуждение.** В данной работе проведено исследование кристаллов LN, легированных ионами  $\text{Hf}^{4+}$ , в плане возможности их применения в послеростовых процессах переполяризации [11,12], а также прямого выращивания кристаллов ППЛN:Hf. В первом случае проведены эксперименты по послеростовой переполяризации этих кристаллов и исследовано изменение их проводимости. С этой целью из кристаллов LN, легированных 1, 2, 3, 4, 5 и 8 мол%  $\text{HfO}_2$ , были изготовлены пластины Z-среза толщиной 0.5 мм с полированными Z-поверхностями. На образцы были нанесены металлические электроды из NiCr и их поверхности были покрыты тонким слоем (порядка 0.5 мкм) изолятора. Источник высокого напряжения, дающий напряжение до 21 кВ/мм, был соединен с электродами. Для измерения проводимости на электроды, нанесенные на образцы, было приложено ступенчато-возрастающее напряжение с параллельным измерением напряжения и электрического тока на образцах.

Рис. 1 представляет вольт-амперные характеристики кристаллов LN, легированных 2 и 5 мол%  $\text{HfO}_2$ . Подобно номинально чистым кристаллам LN конгруэнтного состава, с которым был проведен сравнительный анализ, кристалл LN:2 мол%  $\text{HfO}_2$ , так же, как и кристаллы LN, легированные 1, 3 и 4 мол%  $\text{HfO}_2$ , имел низкую проводимость и утечку заряда (рис. 1,б), тем самым демонстрируя возможность достижения больших площадей переполяризации для указанных образцов. Исследование вольт-амперных характеристик кристаллов с более высокими концентрациями 5 мол%  $\text{HfO}_2$  (рис. 1,в) и 8 мол%  $\text{HfO}_2$  показало, что уже при низких значениях напряжения у кристаллов проявляется проводимость. Вследствие этого переполяризуются небольшие площади с низким качеством переполяризации.

С учётом того факта, что пороговое значение концентрации ионов  $\text{Hf}^{4+}$  находится в районе 3 мол%, приведенные результаты свидетельствуют о возможности получения на указанных кристаллах периодически поля-

ризованных структур высокой однородности. При этом предельная концентрация примесного иона для создания периодически поляризованных структур методами послеростовой переполаризации находится в интервале 4 – 5 мол%, выше которого наблюдается значительное ухудшение условий переполаризации.

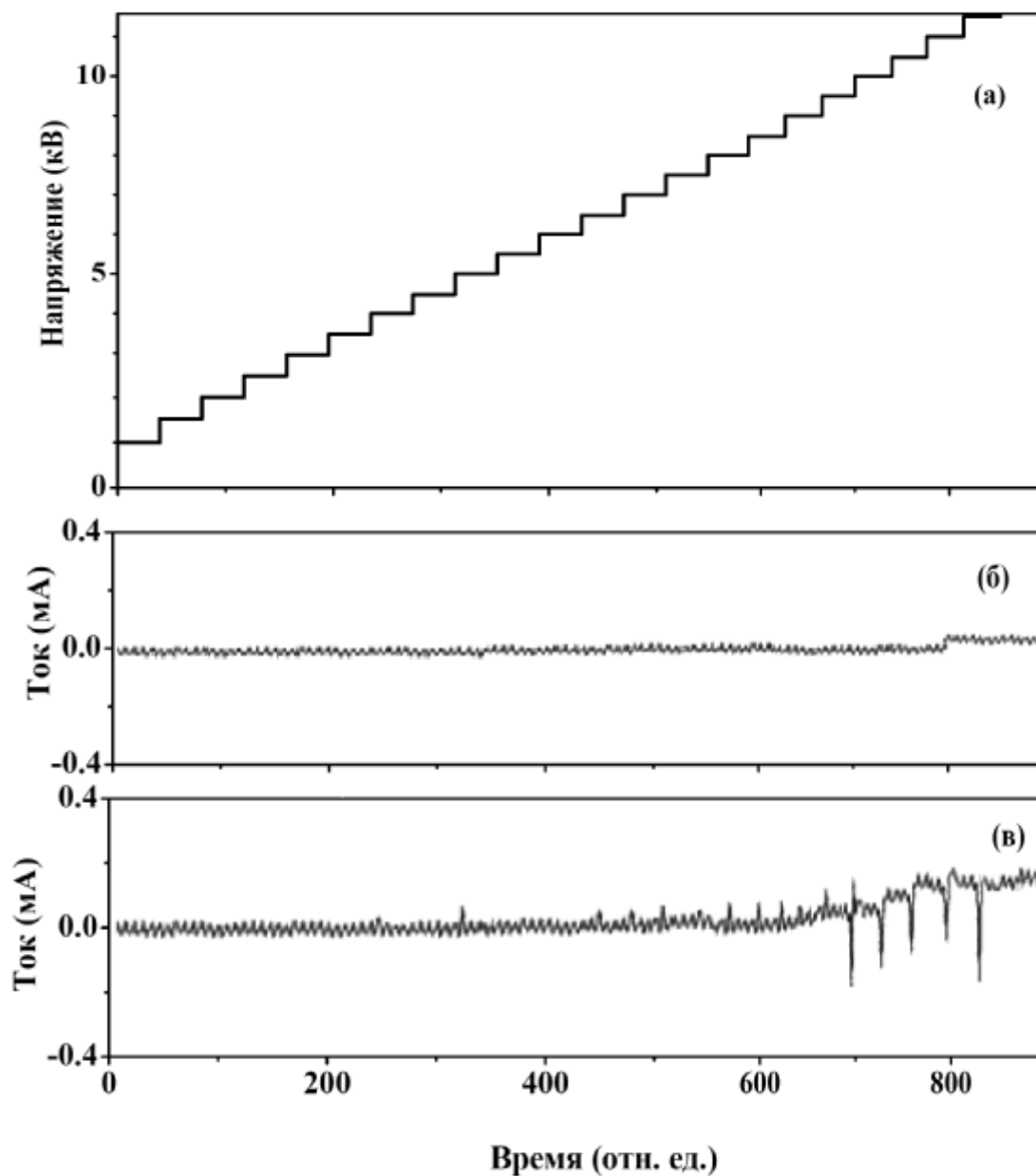


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики кристаллов LN, легированных 2 мол% и 5 мол%  $\text{HfO}_2$ : а) напряжение, приложенное к электродам, в зависимости от времени; б) электрический ток в зависимости от напряжения и времени для кристалла LN:2 мол%  $\text{HfO}_2$ ; в) электрический ток в зависимости от напряжения и времени для кристалла LN:5 мол%  $\text{HfO}_2$ .

Получение ПП структур в кристаллах LN, легированных ионами  $\text{Hf}^{4+}$ , непосредственно в процессе выращивания кристалла проводилось методом

Чохральского с приложением к системе кристалл – расплав импульсов электрического тока прямоугольной формы различной полярности [13], а также усовершенствованным методом, основанным на вращательных неоднородностях при росте со смещенной осью вращения кристалла от оси температурной симметрии ростовой системы [14-16]. С помощью обеих методик были получены однородные, непрерывистые ПП структуры размерами 3-60 мкм по всему объему кристалла. Рис. 2, представляющий микроизображение химически травленной поверхности кристалла LN:2 мол% HfO<sub>2</sub>, полученное сканирующим электронным микроскопом, наглядно демонстрирует высокую однородность доменной структуры (рис. 2,а), а также тот факт, что эти структуры покрывают весь объем кристалла до его краев (рис. 2,б).

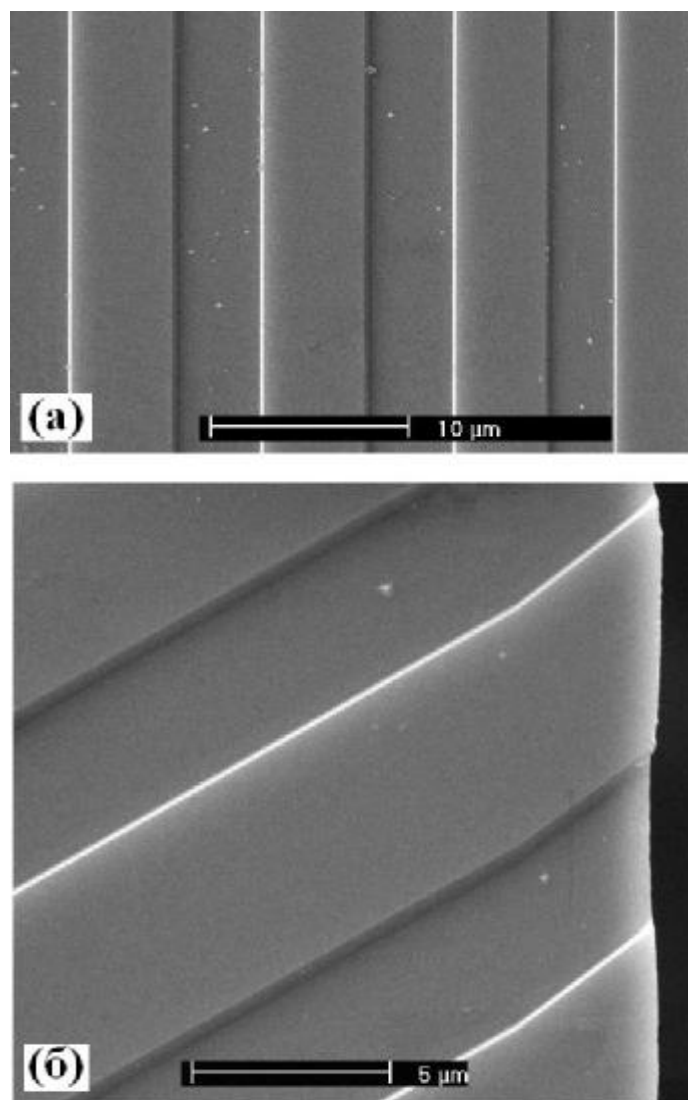


Рис. 2. Микроизображение химически травленной поверхности кристалла LN:2 мол% HfO<sub>2</sub>, полученное сканирующим микроскопом: а) средняя часть кристалла; б) край кристалла.

Следует отметить, что, как и в случае с послеростовой переполаризацией, в случае прямого выращивания ППЛN:Hf предельное значение концентрации HfO<sub>2</sub>, выше которой наблюдается значительное ухудшение однородности периодических структур, находится в области концентраций 4-5 мол%. Сказанное подтверждает рис. 3, показывающий начало разрушения структур в кристалле LN, легированном 5 мол% HfO<sub>2</sub>. Надо отметить, что, как указано и в работе [13], разрушаться начинают стенки доменов, направленные в сторону расплава.

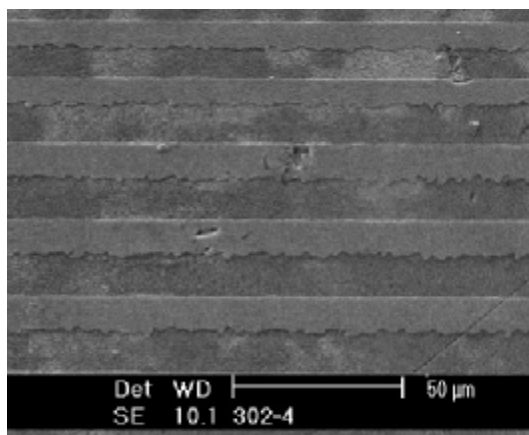


Рис. 3. Микроизображение химически травленной поверхности кристалла LN:5 мол% HfO<sub>2</sub>, полученное сканирующим электронным микроскопом.

**3. Заключение.** Показано, что кристаллы LN, легированные HfO<sub>2</sub> до концентраций 4 – 5 мол%, являются удобным материалом для создания в них однородных периодически поляризованных структур больших площадей как методами послеростовой переполаризации, так и прямым выращиванием методом Чохральского.

Работа выполнена при поддержке проектов МНТЦ-1606, NFSAT-02-07 и ANSEF-1696.

Институт физических исследований НАН РА

Э. П. Коканян

### **Особенности получения периодически поляризованных доменных структур в легированных кристаллах ниобата лития**

Исследованы условия получения периодически поляризованных доменных структур в легированных гафнием кристаллах ниобата лития методами послеростовой переполаризации и прямого выращивания кристаллов. Показано, что

эти кристаллы являются удобным материалом для получения в них периодически поляризованных доменных структур. Найденны предельные концентрации примесного иона гафния, выше которых наблюдается значительное ухудшение однородности периодических структур.

### **Է. Պ. Կոկանյան**

#### **Լիթիումի նիոբատի լեգիրացված բյուրեղներում պարբերաբար բևեռացված դոմենային կառուցվածքների սրացման առանձնահատկությունները**

Ներագրված են հերաճային վերաբևեռացման և բյուրեղների ուղղակի աճեցման մեթոդներով հաֆնիումով լեգիրացված լիթիումի նիոբատի բյուրեղներում պարբերաբար բևեռացված դոմենային կառուցվածքների սրացման պայմանները: Յույց է փրված, որ նշված բյուրեղները հարմար նյութ են նրանցում պարբերաբար բևեռացված դոմենային կառուցվածքների սրեղծման համար: Որոշված են հաֆնիումի խառնուրդային իոնի սահմանային կոնցենտրացիաները, որից բարձրի դեպքում դիտվում է պարբերական կառուցվածքների համասեռության զգալի վատթարացում:

### **E. P. Kokanyan**

#### **Peculiarities of Periodically Poled Domain Structures Creation in Doped Lithium Niobate Crystals**

Conditions for creation of periodically poled domain structures in hafnium-doped lithium niobate crystals by after-growth repolarization and direct growth methods were investigated. It is shown that the mentioned crystals are a suitable material for obtaining the periodically poled domain structures in them. Ultimate concentrations of the hafnium impurity ion are found, above which an essential degradation of periodic structures homogeneity is observed.

### **Литература**

1. *Myers L.E., Eckardt R.C., Fejer M.M., Byer R.L., Bosenberg W.R., Pierce J.W.* - J. Opt. Soc. of Am. 1995. V. 12. N11. P. 2102-2116.
2. *Pruneri V., Butterworth S.D., Hanna D.C.* - Optics Letters. 1996. V. 21. N6. P. 390-393.
3. *Banfi G.P., Datta P.K., Degiorgio V., Fortusini D.* - Applied Physics Letters. 1998. V. 73. N2. P. 136-138.
4. *Chou M.H., Brener I., Fejer M.M., Chaban E.E., Christman S.B.* - IEEE Photon.

Technol. Letters. 1999. V. 11. N6. P. 653-655.

5. *Cristiani I., Degiorgio V., Socci L., Carbone F., Romagnoli M.* - IEEE Photon. Technol. Letters. 2002. V. 14. N5. P. 669-671.

6. *Kokanyan E.P., Razzari L., Cristiani I., Degiorgio V., Gruber J.B.* - Applied Physics Letters. 2004. V. 84. N11. P. 1880-1882.

7. *Kokanyan E.P.* - Ferroelectrics. 2006. V. 341. P. 119-124.

8. *Minzioni P., Cristiani I., Yu J., Parravicini J., Kokanyan E.P., Degiorgio V.* - Optics Express. 2007. V. 15. N21. P. 14171-14176.

9. *Minzioni P., Cristiani I., Degiorgio V., Kokanyan E.P.* - Journal of Applied Physics. 2007. V. 101. N11. P.116105-1-116105-3.

10. *Kokanyan E., Minzioni P., Cristiani I., Degiorgio V.* - Ferroelectrics. 2008. V. 373. P. 32-36.

11. *Grilli S., Ferraro P., Paturzo M., Alfieri D., Natale P.De.* - Optics Express. 2004. V. 12. N9. P. 1832-1842.

12. *Shur V.Ya., Rumyantsev E.L., Nikolaeva E.V., Shishkin E.I., Batchko R.G., Miller G.D., Fejer M.M., Byer R.L.* - Ferroelectrics. 2001. V. 236. P. 129-144.

13. *Kokanyan E.P., Babajanyan V.G., Demirkhanyan G.G., Gruber J.B., Erdei S.* - Journal of Applied Physics. 2002. V. 92. N3. P. 1544-1547.

14. *Ming N.-B., Hong J.-F., Feng D.* - J. Mater. Sci. 1982. V. 17. P. 1663-1668.

15. *Zheng J.-J., Lu Y.Q., Luo G.-P., Ma J., Lu Y.-L.* - Applied Physics Letters. 1998. V. 72. N15. P. 1808-1810.

16. *Bermudez V., Serrano M.D., Dieguez E.* - J. Crystal Growth. 1999. V. 200. P. 185-190.