

Формирование квазирегулярных доменных структур в результате лазерного сканирования кристаллов танталата лития

М.С. Кособоков, А.В. Макаев, Д.К. Кузнецов, В.Я. Шур

Институт Естественных Наук и Математики, Уральский Федеральный Университет, 620000, Екатеринбург, Россия
e-mail: mihail.kosobokov@urfu.ru

Одноосный сегнетоэлектрик танталат лития LiTaO_3 (LT), благодаря сочетанию уникальных характеристик, широко применяется в электрооптических, нелинейно-оптических, пьезоэлектрических и пироэлектрических устройствах [1-3]. LT является одним из наиболее популярных материалов для реализации методов доменной инженерии, в частности, для создания преобразователей частоты лазерного излучения с высокой эффективностью [4-7]. Традиционное создание регулярной доменной структуры приложением неоднородного электрического поля с помощью системы полосовых электродов не позволяет получать субмикронные и нанометровые периоды. Благодаря выдающимся пироэлектрическим свойствам LT может использоваться при создании генераторов сверхсильных электростатических полей с заданным пространственным распределением для применений в микрофлюидике и биоинженерии [8]. Создание квазирегулярных доменных структур позволяет локально уменьшать величину пироэлектрического поля и управлять его пространственным распределением, что может быть использовано для создания пироэлектрических источников рентгеновского излучения [9] и генераторов пиколитровых капель жидкости [8]. Одним из простых методов создания квазирегулярных микро- и нанодоменных структур является многократное локальное импульсное лазерное облучение [10-12]. В кристаллах ниобата лития нами были выявлены два типа эволюции доменных структур под действием пироэлектрического поля: 1) рост и ветвление доменных лучей [10,11] и 2) формирование квазирегулярных цепей изолированных доменов [12].

В работе исследовалось формирование доменных структур при импульсном облучении монодоменных пластин LT конгруэнтного состава толщиной 0,5 мм, вырезанных перпендикулярно полярной оси. Для облучения использовалась лазерная установка VLS3.50, Universal Laser System ($\lambda = 10.6 \mu\text{m}$, 40 W) с Гауссовым распределением плотности энергии. Излучение фокусировалось ZnSe линзой на полярные поверхности с FWHM в облучаемой зоне около 0,25 мм и плотностью мощности в центре около 110 Вт/мм^2 . Сканирование реализовано линейным перемещением образца со скоростью около 2,5 м/с. Многократное сканирование проводилось по одной линии и при ее смещении на 5 мкм. Интервал между последовательными сканированиями составлял 20 с, что обеспечивало восстановление комнатной температуры образца.

Для визуализации статической доменной структуры использовалось химическое травление в HF кислоте в течение 25 минут. Поверхностный рельеф, соответствующий доменной структуре, был визуализирован оптическим микроскопом Olympus VX51 в отражённом свете с субмикронным разрешением и сканирующим электронным микроскопом (СЭМ) Auriga CrossBeam Workstation с разрешением около 2 нм. Для компенсации поверхностного заряда перед СЭМ визуализацией исследуемая поверхность покрывалась слоем меди толщиной 20 нм.

В работе представлены результаты использования многократного сканирования ИК лазером для получения квазирегулярной доменной структуры в пластинах LT. Изучена эволюция с увеличением количества импульсов (N) самоорганизованной структуры, состоящей из круглых нанодоменов на Z^+ полярной поверхности (Рис.1).

Выявлены 4 стадии эволюции доменной структуры с ростом количества импульсов:

1) Образование полосовых доменов после первого сканирования монодоменного образца (Рис.1а).

2) Превращение полосовых доменов в квазирегулярные цепи круглых изолированных доменов после второго и третьего сканирования (Рис.1b), детально исследованное в [АМ].

3) Увеличение количества и размеров круглых доменов при $5 < N < 40$ (Рис.1 c) с линейной зависимостью радиуса доменов от N . Круглая форма доменов обусловлена особенностью переключения при повышенных температурах ($T > 200$ °C) [13].

4) Уменьшение количества доменов и их упорядочение при $N > 40$ (Рис.1 d). При этом радиус доменов линейно зависит от N , доля переключённой области не изменяется, а количество доменов уменьшается. То есть, рост доменов сопровождается поглощением маленьких при слиянии с большими. Взаимодействие больших доменов приводит к упорядочению доменной структуры, определенному из параметров автокорреляционной функции.

Методом конечных элементов проведено компьютерное моделирование зависимости от времени пространственного распределения температуры и пироэлектрического поля. Для объяснения процесса упорядочения доменной структуры проведено моделирование роста полосовых доменов в пространственно неоднородном пироэлектрическом поле.

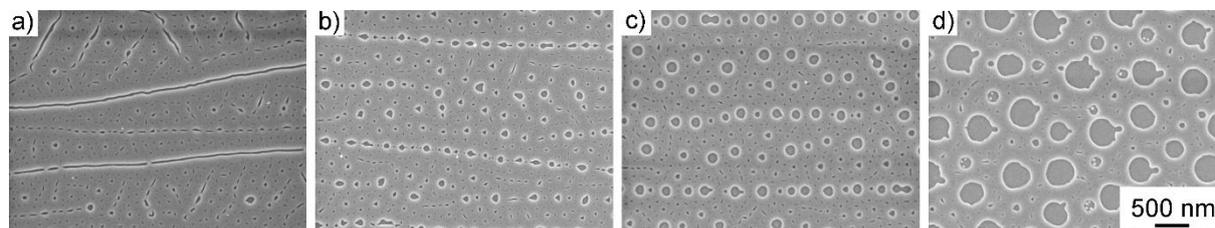


Рисунок 1. СЭМ изображения доменных структур в центре облучённой зоны, полученных в результате сканирования Z+ полярной поверхности: (a) $N = 1$, (b) $N = 2$, (c) $N = 4$, (d) $N = 80$. Доменная структура выявлена селективным химическим травлением.

Полученные результаты представляют значительный интерес для дальнейшего развития методов доменной инженерии в кристаллах ЛТ.

В работе использовалось оборудование Уральского центра коллективного пользования «Современные нанотехнологии» УрФУ. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект №19-12-00210).

1. R.T. Denton, *J. Appl. Phys.* **38**, 1611 (1967).
2. A. Glass, *Phys. Rev.* **172**, 564 (1968).
3. V.Ya. Shur, in *Advanced Piezoelectric Material Science and Technology* (Woodhead Publishing Ltd.), 204 (2010).
4. V.Ya. Shur, E.V. Nikolaeva, E.I. Shishkin, V.L. Kozhevnikov, A.P. Chernykh, K. Terabe, K. Kitamura, *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 3146 (2001).
5. M. Lazoul, A. Boudrioua, L.M. Simohamed, A. Fischer, L.H. Peng, *Opt. Lett.* **38**, 3892 (2013).
6. A.C. Busacca, E.D. Asaro, A. Pasquazi, S. Stivala, G. Assanto, *Appl. Phys. Lett.* **93**, 121117 (2008).
7. A. Aadhi, N. Apurv Chaitanya, M.V. Jabir, R.P. Singh, G.K. Samanta, *Opt. Lett.* **40**, 33 (2015).
8. E.A. Mingaliev, D.V. Zorikhin, M.S. Kosobokov, A.V. Makaev, V.Ya. Shur, *Ferroelectrics*, **476**, 156 (2015).
9. V.A. Andrianov, A.L. Erzinkian, L.I. Ivleva, P.A. Lykov, *AIP Adv.*, **7**, 115313 (2017).
10. V.Ya. Shur, E.A. Mingaliev, M.S. Kosobokov, A.V. Makaev, *Ferroelectrics*, **560**, 79 (2020).
11. V.Ya. Shur, E.A. Mingaliev, M.S. Kosobokov, M.S. Nebogatikov, A.I. Lobov, A.V. Makaev, *J. Appl. Phys.* **127**, 094103 (2020).
12. *Acta Materialia*, in press (2021).
13. V.Ya. Shur, A.R. Akhmatkhanov, D.S. Chezganov, A.I. Lobov, I.S. Baturin, M.M. Smirnov, *Appl. Phys. Lett.* **103**, 242903 (2013).