

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИОБАТА ЛИТИЯ

Е. А. Поспелова, И. С. Азанова

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

В настоящее время все чаще применяют периодическую доменную структуру в монокристаллах ниобата лития (LiNbO_3) в науке и технике. Ниобат лития – это сегнетоэлектрик, обладающий свойствами нелинейности, высокой температурой Кюри, высокими электрооптическими коэффициентами, что довольно редко встречается. Обычно сегнетоэлектрик не является однородно поляризованным, он состоит из доменов – «областей» с различными направлениями поляризации. Применение метода полинга один из способов получения периодической доменной структуры.

Цель данной работы – изучение способов создания периодической доменной структуры монокристалла ниобата лития и примеры их применения.

Задачи работы включают в себя изучение:

- 1) структуры кристалла ниобата лития (LiNbO_3);
- 2) структуры домена и его особенности;
- 3) способов создания доменных структур;
- 4) примеров применения.

Основные свойства ниобата лития представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Основные свойства НЛ [1].

Наименование характеристики	Величина
Химическая формула	LiNbO_3
Пространственная группа	R_{3c}
Постоянные кристаллической решетки в гексагональном представлении, Å	$a = 5,15$ $c = 13,86$
Плотность, кг/м^3	4648,5
Показатели преломления: обыкновенный n_o : необыкновенный n_e :	2,28 2,20
Температура плавления, T_m (°C)	1240
Температура Кюри, T_C (°C)	1145
Коэффициент теплового расширения, $^{\circ}\text{C}^{-1}$: вдоль оси X: вдоль оси Z:	$14 \cdot 10^{-6}$ $4 \cdot 10^{-6}$
Статическая диэлектрическая проницаемость: ϵ_{11} : ϵ_{33} :	84,6 29,1

У монокристалла ниобата лития имеются обширные монодоменные области. Домены (франц. *domaine* означает «владение», «область», «сфера») – это области химически однородной среды, отличающиеся упорядоченностью в расположении или ориентации частиц. Домены отделены друг от друга доменными стенками или границами. Сегнетоэлектрические доменные стенки в отличие от ферромагнитных, намного тоньше, с постоянной кристаллической решеткой. С помощью экранирования можно стабилизировать структуру домена навсегда. Домены наблюдаются как в проходящем, так и в отраженном свете, в зависимости от свойств сегнетоэлектрического кристалла [2].

Домен, если смотреть по оси z , можно увидеть в виде шестиугольной формы (Рис. 1 а). В результате роста домена образуются совершенные шестиугольные домены со сторонами строго ориентированные вдоль Y -направлений, за счет анизотропии движения доменных стенок. Также можно увидеть домен неправильной формы (рис. 1, б, с), это происходит за счет нарушения равновесия, после чего создается неустойчивое состояние.

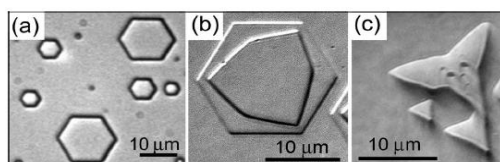


Рис. 1. *Формы изолированных доменов [3]*

Доменная структура – совокупность доменов различной ориентации. Анализ доменных конфигураций, полученных после частичных переключений, позволил выделить несколько стадий эволюции доменов, которые описаны в статье [3]: (1) зарождение новых доменов, (2) прямое прорастание доменов, (3) боковое движение доменных стенок, (4) сращивание остаточных доменов, и (5) спонтанное обратное переключение (Рис. 2).

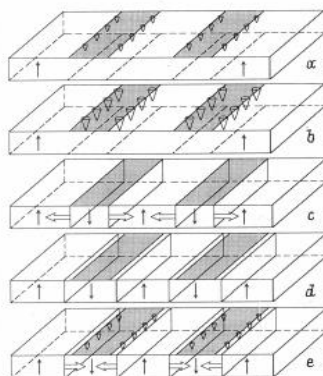


Рис 2. *Основные стадии эволюции доменов при переключении монодоменной пластины: а) зарождение новых доменов, б) роста вперед домена, с) боковое отклонение роста домена, d) сращивание остаточных доменов, е) спонтанная обратного переключения [4].*

Периодическую доменную структуру можно встретить в интегрально – оптических приборах, например:

1. Лазерное проекционное телевидение: рынок проекционных дисплеев для домашних кинотеатров и залов заседаний, и специальное освещение.

2. Прецизионная обработка материалов: компактные источники зеленого света на основе волоконного лазера.

3. Биомедицинские инструменты: надежный компактный лазерный источник синего света.

4. Подводная связь: надежные, компактные и рентабельные лазерные источники сине-зеленого излучения.

5. ЛИДАРЫ: компактные лазеры определенной длины волны в ИК диапазоне низким энергопотреблением.

Существуют несколько методов создания регулярных доменных структур. Процесс переключения ориентации поляризации в доменах называют полингом. В 1986 году открыто явление оптического полинга, при котором электрическое поле создавалось оптическим излучением [5]. Проводились активные исследования и разработки других видов полинга.

Различают:

- оптический полинг [5];
- полинг внешних полей;
- ультрафиолетовый полинг [6];
- полинг электронным пучком [7];
- тепловой полинг (температурный) [8];

В таблице 2 кратко описаны некоторые виды полинга и их эффективность, что дает сравнительный анализ применения полинга.

Таблица 2. Краткое описание видов полинга и их эффективность

Название полинга	Условия возникновения	Эффективность
Оптический	Воздействует свет на изотропную среду пространственно-неоднородной электрической поляризации, которая остается в среде после выключения света.	Получаются оптические решетки нелинейной поляризуемости второго порядка, обратимое изменение симметрии. Возможны нелинейные трехволновые взаимодействия.
Полинг внешнего поля	Предварительное нанесение системы полосовых электродов на поверхность тонких образцов (толщина $d > 1\text{ мкм}$) перпендикулярных осям поляризации.	Появляется большое количество электронов создающих пространственный заряд.
Ультрафиолетовый	УФ фемтосекундный лазерный источник и нелегированный образец.	Получаются поляризованные образцы с нелинейностью второго порядка.

Тепловой (температурный)	Процесс «вмораживания» электрического поля.	После охлаждения фиксация распределения зарядов, получают квадратичную нелинейность.
Полинг электронным лучом	Растрово электронный микроскоп.	Создание на Y-срезах в легированных кристаллах LiNbO ₃ серию периодических доменных структур.

В работе были рассмотрены материалы о ниобате лития и о доменных структурах. Периодические доменные структуры с периодом 1 мкм и менее являются перспективным направлением и активно развивается.

Список литературы

1. Кузьминов Ю. С. Ниобат и танталат лития. Материалы для нелинейной оптики // М.: Наука, 1975. 223 с.
2. Шур В. Я., Румянцев Е. Л. Исследование кинетики субмикронных и нанодоменных структур в сегнетоэлектрических монокристаллах при внешних воздействиях: учебное пособие // УрГУ им. А. М. Горького, Екатеринбург, 2007. 48 с.
3. Shur V. Ya., Akhmatkhanov A. R., Baturin I. S. Micro- and nano-domain engineering in lithium niobate // Applied Physics Reviews. 2015. Vol. 2. 040604-5.
4. Шур В. Я., Румянцев Е. Л., Бачко Р. Г., Миллер Г. Д., Фейер М. М., Байер Р. Л. Кинетика доменов при создании периодической доменной структуры в ниобате лития // Физика твердого тела. 1999. Т. 41, вып. 10. С. 1831-1837.
5. Österberg U., Margulis W. Dye laser pumped by Nd:YAG laser pulses frequency doubled in a glass optical fiber // Optics Letters. 1986. Vol. 11(8). P. 516-518.
6. Corbari C., Kazansky P., Stephen S. A., Nikogosyan D. N. Ultraviolet poling of pure fused silica by high-intensity femtosecond radiation // Applied Physics Letters. 2005. Vol. 86. 071106.
7. Restoin C., Darraud-Taupiac C., Decossas J.L. et.al. Electron-Beam Poling on Ti:LiNbO₃ // Appl. Opt. 2001. Vol. 40 (33). P. 6056-6061.
8. Myers R. A., Mukherjee N., Brueck S. R. J. Large second-order nonlinearity in poled fused silica // Optics Letters. 1991. Vol. 16 (22). P. 1732-1734.