

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПРОТОНООБМЕННЫХ СЛОЕВ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ НА КИНЕТИКУ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

М.В. СПИРИН*, А.Н. СМЕРНОВА*, А.Р. АХМАТХАНОВ**

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

**Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, 620002, Екатеринбург, Мира, 19

Введение

В последние десятилетия наблюдаются значительные успехи в применении устройств на основе нелинейно-оптических и электрооптических кристаллов, что во многом обязано успехам, достигнутым в технологии выращивания оптически-совершенных кристаллов семейств ниобата лития и танталата лития [1]. Ниобат лития – оптически одноосный, тригональный, сегнетоэлектрический кристалл. При температурах меньше температуры Кюри, которая для конгруэнтного ниобата лития составляет $T_C \approx 1140^\circ\text{C}$ [2], кристалл обладает спонтанной поляризацией (моноклоновое состояние). При приложении внешнего электрического поля достаточной величины к пластине ниобата лития можно наблюдать возникновение областей с измененной ориентацией спонтанной поляризации (домены). Процесс переполяризации сопровождается следующими стадиями кинетики доменной структуры: зародышеобразование, прямое прораствание, боковое движение, коалесценция, самопроизвольное обратное переключение. Формирование доменной структуры сопровождается наличием тока переключения и его изменением со временем.

Известным методом формирования волноводных слоев в ниобате лития является метод протонного обмена. Процесс протонного обмена заключается в частичном замещении ионов лития Li^+ на поверхности кристалла на ионы водорода H^+ .

Протонообменные оптические волноводы в кристаллах ниобата лития проявляют сложное структурно-фазовое многообразие. Установлено, что семь кристаллических фаз $\text{H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$ со структурой ниобата лития могут формироваться при различных условиях протонного обмена и постобменного отжига [3]. В литературе фазы именуются, как α -, κ_1 -, κ_2 -, β_1 -, β_2 -, β_3 - и β_4 - $\text{H}_x\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_3$.

Цель работы: исследовать кинетику доменной структуры в ниобате лития, поверхность которого модифицирована протонообменными слоями.

Методика эксперимента

Для переключения поляризации используется ячейка с жидкими электродами (концентрированный раствор соли хлорид лития LiCl), в которую помещается образец. Жидкий электрод ограничен силиконовой пластинкой, которая задает размер переключаемой области.

Установка для исследования кинетики доменной структуры позволяет одновременно с визуализацией доменной структуры измерять токи переключения. В состав установки входят: оптический микроскоп CARLZEISS LMA10 (на столике которого располагается ячейка с образцом) с встроенной цифровой видеокамерой, цифро-аналоговая плата PCI-6251, которая при помощи программного обеспечения на LabVIEW, генерирует серии импульсов произвольной формы. Эти импульсы усиливаются в 2000 раз с помощью высоковольтного усилителя TREK 20/20с. Ток через образец определялся по падению напряжения на последовательно соединенном сопротивлении R [4].

Образцы, используемые в эксперименте, представлены таблице 1.

Таблица 1. Параметры исследуемых образцов (*B* – волновод, *ПО* – протонный обмен)

№ образца	Сторона Z^+	Сторона Z^-	Режим отжига после протонного обмена	Фазовый состав	Глубина ПО слоя, мкм
Z-41	B^+ LiNbO ₃	B	380°C, 2 часа	α -фаза	4,5
Z-53	B^+ LiNbO ₃	LiNbO ₃	300°C, 8 часов	α - и κ -фазы	4

Во всех образцах на стороне Z^+ были сформированы протонообменные волноводы шириной 50 – 150 мкм вдоль оси x методом протонного обмена в бензойной кислоте C_6H_5COOH при температуре $t=190^\circ C$ в течение 2 часов. При этом сторона Z^- на образце Z-41 так же подвергалась протонному обмену, а на образце Z-53 была защищена алюминиевой маской. Далее все образцы подвергались отжигу, в результате которого образец Z-41 приобрел α -фазу, а образец Z-53 α - и κ - фазы. Фазовый состав и глубина протонообменных слоев определены соответственно при помощи рентгеновского анализа и модовой спектроскопии.

Результаты и обсуждение

Во время съемки приложенное внешнее электрическое поле оставалось постоянным. Домены с различной поляризацией отличимы на рисунках

за счет электрооптического эффекта □ □ изменения показателя преломления среды при воздействии на нее электрического поля.

1) Результаты исследования кинетики доменной структуры для образца Z-41. Во время первой съемки прикладывалось внешнее электрическое поле $E_{ex}=21,3 \text{ kV/mm}$. На Рисунке 1 изображена кинетика изолированных доменов и соответствующий график для тока переключения.

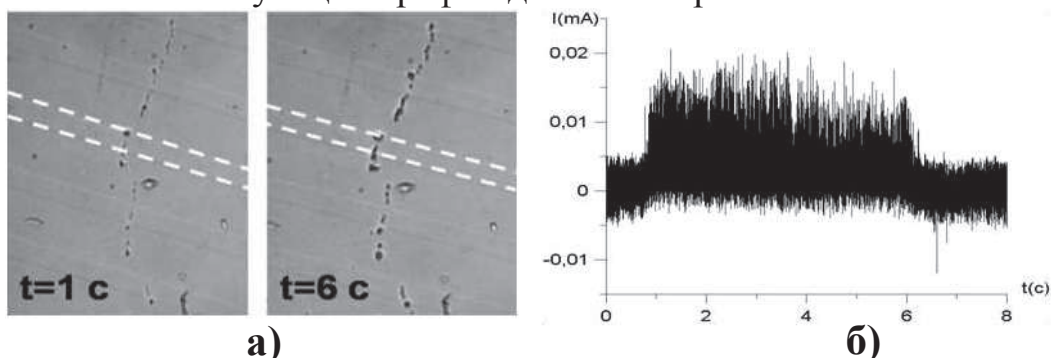


Рис.1. а) Кинетика изолированных доменов б) Зависимость тока переключения от времени

Из графика для тока переключения видно, что изолированные домены растут приблизительно равномерно во временном интервале, отвечающем постоянному значению электрического поля. В течение второй съемки внешнее электрическое поле, прикладываемое к образцу, составляло $E_{ex}=21,5 \text{ kV/mm}$. Из рисунка 2, на котором показаны кинетика доменной структуры и соответствующий ток переключения, следует, что появление доменной стенки на границе “ниобат лития □ □ силиконовая пластинка” и ее дальнейшее движение приводит к увеличению пиков токов.

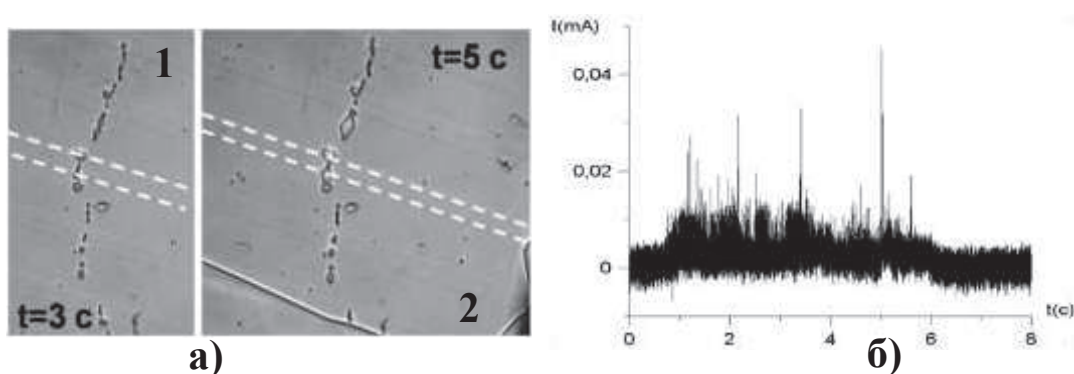


Рис.2. а) Кинетика доменной структуры (1 □ □ □ рост изолированных доменов, 2 □ □ □ появление в видимой области доменной стенки) б) Зависимость тока переключения от времени

2) Результаты исследования кинетики доменной структуры для образца Z-53. Внешнее электрическое поле составляло $E_{ex}=21 \text{ kV/mm}$. На Рисунке 3 изображен скачок доменной стенки, что подтверждается соответствующим

ющим током переключения. Такое движение доменной стенки обусловлено отсутствием протонообменных слоев на стороне Z^+ .

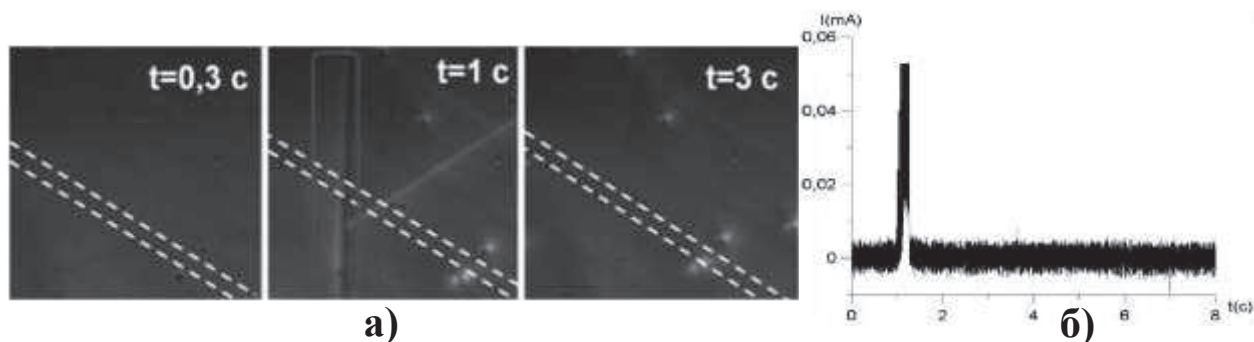


Рис.3. а) Кинетика доменной структуры б) Зависимость тока переключения от времени

Заключение

В работе определено, что во всех образцах на границе “волновод – ниобат лития” изолированные домены растут быстрее, чем в других областях.

Показано, что волноводы на стороне Z^+ препятствуют прохождению доменной стенки, тем самым замедляя ее движение. Особенно это заметно, когда доменная стенка движется вдоль волновода. Отличие только в характере движения: в образце Z-41 перемещение доменной стенки приближено к равномерному, в Z-53 – наблюдаются скачки доменной стенки. Такое движение на пластине Z-53 обусловлено отсутствием протонообменных слоев на Z^+ .

При исследовании кинетики доменной структуры различий между слоями с α -фазой и слоями с α , κ -фазами протонного обмена не обнаружено.

Отличие в кинетике доменной стенки подтверждается соответствующими токами переключения: в Z-41 есть множество равномерно распределенных пиков токов во временном интервале, в Z-53 имеется несколько резко выделяющихся пиков.

Выше описанные эксперименты были выполнены в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шур В.Я., Румянцев Е.Л. Исследование кинетики субмикронных и нано-доменных структур в сегнетоэлектрических монокристаллах при внешних воздействиях, 2007. С. 4–5.
2. Лайнс М. and Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981. 301 с.
3. Коркишко Ю. Н., Федоров В.А. Зависимости показателей преломления от концентрации протонов в H:LiNbO_3 волноводах// Журнал технической физики. 1999. т. 69. вып. 3. С. 126–132.
4. Baturin I.S., Konev M.V., Akhmatkhanov A.R., Lobov A.I. & Shur V.Y. Ferroelectrics. [URL] <http://www.tandfonline.com/loi/gfer20>