

05:06;07;11

Локальная переполаризация LiNbO_3 при сканировании иглообразным электродом поверхности, перпендикулярной оси спонтанной поляризации

© С.О. Фрегатов, А.Б. Шерман

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 14 октября 1997 г.

Принцип локальной переполаризации сегнетоэлектриков с помощью подвижного иглообразного электрода [1] использован для сравнительного изучения особенностей переполаризации кристаллов LiNbO_3 с поверхностями Z (001) и Y (010). Для визуализации доменной структуры наряду с химическим травлением в работе использован оптический поляризационный метод. Отмечено, что обнаруженное отличие в характере зависимостей длины доменов от поляризующего напряжения для различных поверхностей кристалла может быть обусловлено проводящими и поляризационными свойствами областей, в которых происходит рост доменов. Показана возможность задания глубины проникновения создаваемых доменов в образец.

В работе [1] мы предложили новый принцип формирования доменной структуры в сегнетоэлектриках с использованием подвижного иглообразного электрода (аналога иглы в сканирующем туннельном микроскопе). При сравнительно небольших напряжениях (более чем на порядок ниже обычных [2]) электрическое поле вблизи такого электрода оказывается достаточным для переключения поляризации даже в наиболее жестких сегнетоэлектриках. Переполаризация происходит в приповерхностной области кристалла только вблизи точки касания электрода. Перемещение иглы по поверхности образца позволяет формировать доменные структуры в соответствии с заданной поверхностной конфигурацией.

Как показали эксперименты на ниобате лития, локальная переполаризация осуществляется при соприкосновении электрода как с парал-

лельной, так и с перпендикулярной по отношению к оси спонтанной поляризации поверхностями кристалла.

Основное внимание в [1] было уделено изучению переполаризации образца LiNbO_3 с поверхности Y (010). В этом случае сегнетоэлектрические домены развиваются только в одну сторону от траектории перемещения электрода по поверхности образца. Они имеют иглообразную форму и ориентированы параллельно оси спонтанной поляризации. Длина доменов увеличивается с ростом приложенного напряжения и при $U = 2.7 \text{ kV}$ достигает $15 \mu\text{m}$. Было установлено, что толщина приповерхностной области, в которой происходит переполаризация, не превышает $\approx 0.15 \mu\text{m}$.

В предлагаемом сообщении представлена информация, касающаяся локальной переполаризации ниобата лития с поверхности Z (001). Новые данные удалось получить благодаря тому, что общепринятый способ визуализации сегнетоэлектрических доменов методом химического травления был дополнен методом оптической визуализации, основанным на локальном изменении двулучепреломления в кристалле при осуществлении переполаризации. Поскольку в одноосных сегнетоэлектриках домены противоположных знаков оптически неразличимы, такое изменение двулучепреломления может возникать только вблизи доменных стенок из-за локальных упругих напряжений кристаллической решетки и локальных электрических полей [3,4].

Картина двулучепреломления исследовалась с помощью поляризационного микроскопа в проходящем свете. При этом наблюдение велось как со стороны рабочей поверхности, которой касается подвижный иглообразный электрод ("прямое" наблюдение), так и через боковую поверхность образца (наблюдение "сбоку"). Анализатор микроскопа находился в положении, близком к скрещенному по отношению к поляризатору, а образцы ориентировались так, чтобы их собственное двулучепреломление не создавало препятствий для наблюдения.

На рис. 1, *a* представлена фотография, полученная при "прямом" наблюдении после того, как на поверхности Z образца ниобата лития касающимся острием были проведены параллельные линии при разных значениях приложенного напряжения U (2.1 и 2.5 kV). Переполаризация осуществлялась при скорости движения острия $\approx 1 \text{ mm/s}$. Оптический контраст на фотографии свидетельствует о локальном изменении двулучепреломления в области проведенных линий. При уменьшении напряжения контраст ослабляется и перестает фиксироваться при $U < 500 \text{ V}$.

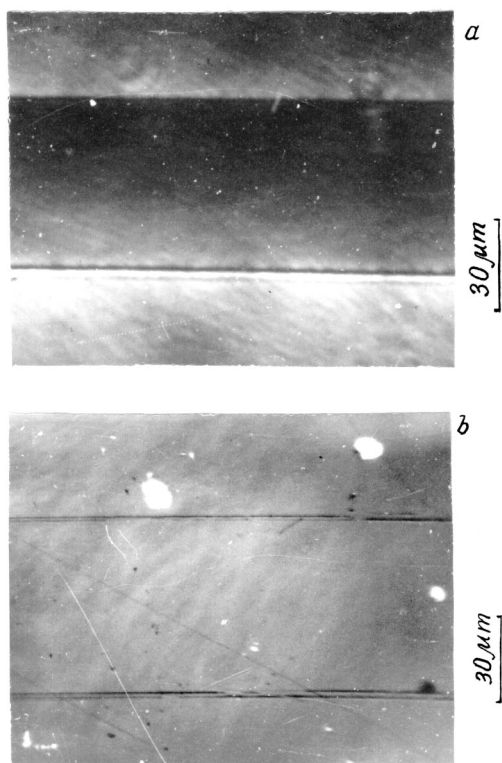


Рис. 1. Доменная структура при локальной переполаризации с поверхности Z . "Прямое" наблюдение поверхности кристалла: a — в поляризованном свете, переполаризация при $U = 2.1\text{ kV}$ (вверху) и $U = 2.5\text{ kV}$ (внизу); b — тот же участок поверхности в отраженном свете после химического травления. Наблюдение "сбоку" области кристалла вблизи поверхности Z в поляризованном свете, переполаризация при $U = 2.5\text{ kV}$; c — вдоль сплошной линии (стрелки — начало и конец движения электрода); d — в отдельных точках (указаны стрелками).

Травление образца показывает, что локальное изменение двулучепреломления связано с образованием сегнетоэлектрических доменов вдоль траекторий движения иглообразного электрода. При этом на рассматриваемой поверхности в отраженном свете видны темные дво-

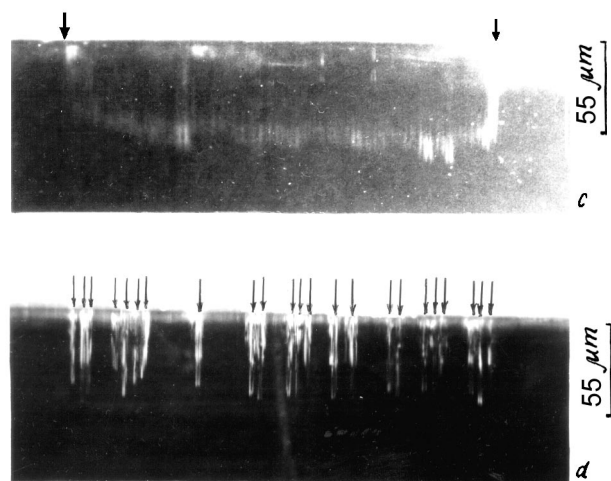


Рис. 1 (продолжение).

енные параллельные канавки, ограничивающие по бокам каждую линию, вдоль которой производилась переполаризация (рис. 1, *b*). Канавки образовались из-за повышенной скорости травления сегнетоэлектрика, которая наблюдается обычно в области нахождения доменных стенок.

Локальные изменения в двулучепреломлении, которые проявляются при наблюдении "сбоку" показаны на рис. 1, *c*. Они позволяют получить информацию о форме и глубине прорастания доменов. Переполаризация вдоль линии была проведена на поверхности Z при $U = 2.5 \text{ kV}$. На фотографии различается структура чередования светлых и темных полос. Она имеет усредненный период $\approx 2 \mu\text{m}$ и распространяется от поверхности в глубь образца на расстояние $\approx 55 \mu\text{m}$. Фотография свидетельствует о том, что при рассматриваемой переполаризации образуется не сплошной домен, а квазирегулярная структура иглообразных доменов, ориентированных параллельно оси спонтанной поляризации.

Фотография, представленная на рис. 1, *d*, была получена при наблюдении "сбоку" после выполнения несколько иной процедуры переполаризации.

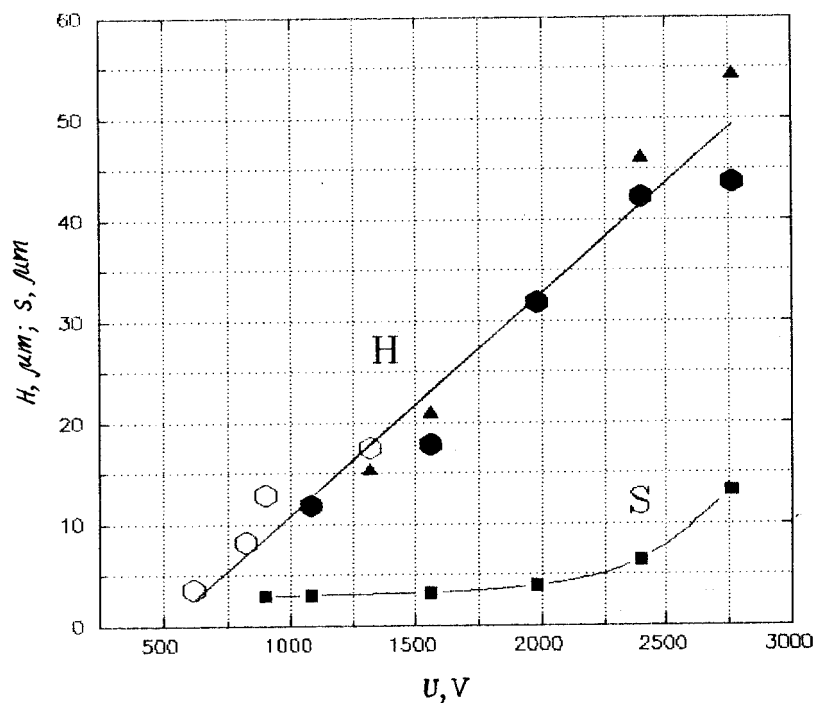


Рис. 2. Зависимость длины доменов H при переполяризации с поверхности Z и ширины вытравленной области S при переполяризации на поверхности Y от приложенного напряжения U .

ризации с поверхности Z . Напряжение $U = 2.5 \text{ kV}$ прикладывалось в течение промежутка времени t к неподвижному электроду, касающемуся этой поверхности. Затем электрод передвигался в новое положение, и к нему вновь прикладывалось напряжение. В результате неоднократного повторения этой операции была осуществлена переполяризация в отдельных точках, расположенных вдоль отрезка прямой на расстоянии от 10 до $40 \mu\text{m}$ друг от друга. Значение t изменялось в интервале от 0.2 до 10 s . На фотографии легко идентифицируются отдельные области переполяризации в виде иглообразных доменов. Контраст изображения в этом случае заметно выше по сравнению с наблюдаемым

при переполаризации вдоль сплошной линии, когда из-за близкого расстояния между доменными стенками ($\approx 1 \mu\text{m}$) уменьшаются локальные вариации электрических и упругих полей. Глубина проникновения доменов в образец, так же как и на рис. 1, s составляет $\approx 55 \mu\text{m}$ и не изменяется в пределах использованных длительностей импульсов напряжения. Ширина доменов, по нашим оценкам, не превышает $2 \mu\text{m}$.

На рис. 2 представлена зависимость длины доменов H от напряжения при переполаризации в отдельных точках поверхности Z . На этом же рисунке приведена и зависимость $S(U)$, которая характеризует ширину вытравленной области, образовавшейся с поверхности Y после проведения переполаризации вдоль сплошной линии. $S(U)$ построена на основании данных работы [1]. Именно эту ширину в [1] мы связывали с длиной образовавшихся доменов. Приведенные зависимости различаются по своему характеру. Кроме того, при одном и том же напряжении длина доменов для поверхности Z всегда больше.

Обнаруженные различия в характеристиках локальной переполаризации могут быть связаны, в частности, с отличием проводящих и поляризационных свойств областей, в которых растут домены.

Приведенные результаты показывают, что с помощью иглообразного электрода можно создавать в сегнетоэлектрике доменные структуры, имеющие не только определенную поверхностную конфигурацию, но и заданную глубину проникновения в образец.

Список литературы

- [1] Фрегатов С.О., Шерман А.Б. // Письма ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 11. С. 54–58.
- [2] Zhu S., Zhu Y., Zhang Z. // J. Appl. Phys. 1995. V. 77. P. 5481–5483.
- [3] Кузьминов Ю.С. Электрооптический и нелинейнооптический кристалл ниобата лития. М.: Наука, 1987. 264 с.
- [4] Антипов В.В., Блистанов А.А., Сорокин Н.Г. // Кристаллография. 1985. Т. 30. В. 4. С. 734–738.