

ДИФФУЗИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ  
В ЛОКАЛЬНО ОБЛУЧЕННЫХ КРИСТАЛЛАХ ТГС

Н. А. Тихомирова, Л. И. Донцова, А. В. Гинзберг

Известно сколь трудно изучение процессов диффузии в твердых телах. Диффузия дефектов в сегнетоэлектрических материалах к настоящему времени практически не изучена, хотя ею объясняются многие релаксационные процессы.

В настоящей работе показана возможность изучения процесса диффузии радиационных дефектов в сегнетоэлектрических кристаллах ТГС на основе исследования процессов переполаризации методом НЖК [1].

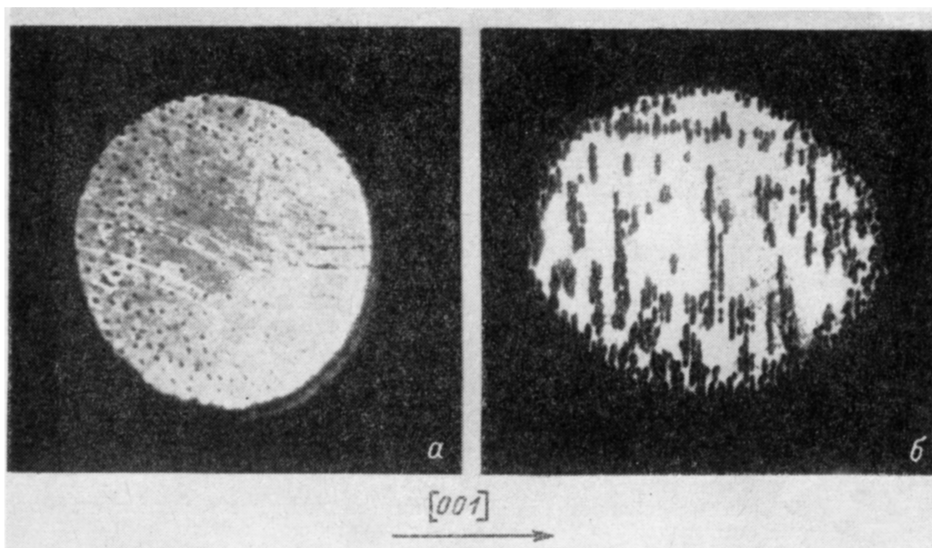


Рис. 1. Визуализация с помощью НЖК ( $\Delta\epsilon < 0$ ) процесса переполаризации локально (через диафрагму  $\varnothing$  1 мм) облученного образца ТГС.

а —  $E_{\sim} \approx E_{\pi}$ , непосредственно после облучения дозой 0.7 Мрад; б —  $E_{\sim} > E_{\pi}$ , тот же образец через 1 месяц после облучения.

Радиационные дефекты в сегнетоэлектриках приводят к формированию внутреннего поля смещения  $E_{\nu}$ , что изменяет кинетику процесса переполаризации и проявляется в возникновении порогового поля  $E_{\pi}$ , необходимого для переключения образца из исходного (имевшегося при облучении) монодоменного состояния. При дозах до 10 Мрад при облучении рентгеновскими лучами поле  $E_{\nu}$  и соответственно  $E_{\pi}$  в кристаллах ТГС пропорционально дозе, т. е. концентрации дефектов [2]. Поэтому, измеряя значение  $E_{\pi}$  в различных областях образца, можно судить о распространении в нем радиационных дефектов. При локальном облучении метод НЖК позволяет визуально сравнивать кинетику процесса переполаризации в облученной и необлученной областях одного и того же образца.

Для создания неоднородного распределения радиационных дефектов центральная часть монодоменных образцов ТГС размером  $10 \times 10 \times 1$  мм облучалась рентгеновскими лучами от источника БСВ-4 с молибденовым анодом через диафрагму. В качестве фильтра, убирающего мягкое «белое» излучение, перед исследуемым образцом помещалась пластина ТГС толщиной 1 мм [3]. Исходное монодоменное состояние создавалось поляри-

зацией образца в постоянном поле при одновременном контроле однородности методом НЖК [4].

Для визуализации облученной области достаточно приложить к образцу синусоидальное электрическое поле частотой до  $10^4$  Гц. При  $E_{\sim} < E_{\text{п}}$  процесс переполяризации происходит только в необлученной области с образованием большого числа зародышей доменов, которые при скрещенных поляроидах видны как черные точки, поэтому необлученная область выглядит темной, а облученная область имеет вид однородного белого круга (по форме диафрагмы; рис. 1, а). При  $E_{\sim} > E_{\text{п}}$  зародыши доменов возникают и в облученной области, но плотность их существенно меньше, чем в необлученной, поэтому необлученная область будет также четко

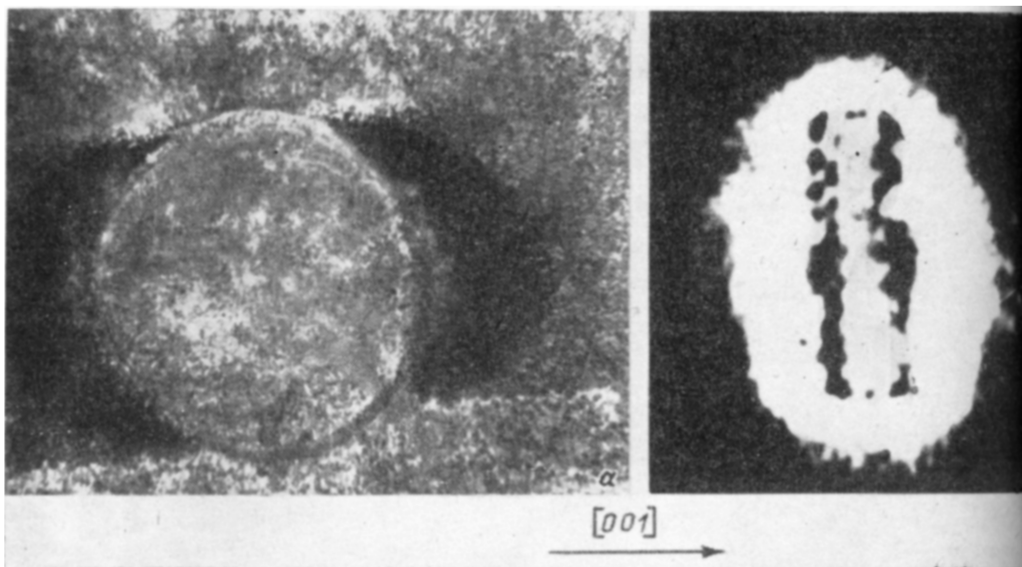


Рис. 2. Визуализация с помощью НЖК картины неоднородного переключения локально облученных образцов ТГС дозой 2.5 Мрад, через диафрагмы  $\varnothing$  1 мм (а) и прямоугольную  $0.6 \times 3$  мм (б) после отжига образцов в течение 4 ч при  $T=110$  °С.

Наблюдение при комнатной температуре.

выделяться (рис. 1, б). Через некоторое время после облучения в процессе старения при комнатной температуре становится заметным анизотропное «искажение» области рентгеновского повреждения — она приобретает форму эллипса (рис. 1, б) с ориентацией его большой оси вдоль кристаллографической оси  $c$  кристалла ТГС направления [001] (в установке осей по [5]). Отжиг образца при температуре  $T=110$  °С (для кристалла ТГС эта температура близка к температуре разложения  $\sim 140$  °С) в течение 2—4 ч приводит к образованию вокруг первоначального изображения облученной области (круга) характерной картины неоднородного переключения в виде «ушей» с ярко выраженной анизотропией по кристаллографической оси  $c$  кристалла ТГС (рис. 2, а). По значению пороговых полей переключения «уши» занимают промежуточное положение между необлученной и облученной областями. При соответствующем сочетании внешнего постоянного и переменного электрических полей можно получить обратную приведенной на рис. 2, а картину черно-белого контраста между необлученной, облученной областями и «ушами». На рис. 2, б приведена форма области неоднородного переключения, возникающая после отжига локально облученного полидоменного образца через диафрагму прямоугольной формы. Видно, что и в этом случае размер области «искажения» в направлении [001] больше, чем в перпендикулярном ему направлении [102]. Зависимость пороговых полей  $E_{\text{п}}$  процесса пере-

ключения от расстояния  $x$  от облученной до рассматриваемой области образца описывается экспоненциальной зависимостью  $E_n = E_{0n} \exp(-kx)$ , где  $E_{0n}$  — пороговое поле облученной области, а коэффициент  $k_{[102]}$  в 2.5—3 раза больше, чем  $k_{[102]}$ . Области облучения и возникающего после отжига образца искажения вокруг них характеризуются упорядоченным расположением дефектов, что проявляется в процессе переполаризации в упорядоченном расположении вдоль направления [102] зародышей доменов в отличие от их более хаотического расположения в необлученной области.

Искажение рентгеновского изображения в процессе старения и отжига имеет объемный характер, что проверено сошлифовкой образцов на различную глубину.

Пропорциональность между значением  $E_n$  и концентрацией дефектов позволяет однозначно объяснить искажение, возникающее в процессе старения и отжига диффузией радиационных дефектов из облученной области с высокой концентрацией дефектов в необлученную. Используя для расчета коэффициента диффузии радиационных дефектов известную формулу  $D = x_{\text{диф}}^2 / 2t$ , где за  $x_{\text{диф}}$  принимаем размер искажения в соответствующие моменты времени  $t$ , получаем, что при  $T = 25^\circ \text{C}$   $D_{(001)} = 3 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2/\text{с}$ , а при  $T = 110^\circ \text{C}$   $D_{(001)} = 4 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ . Из экспоненциальной зависимости  $D$  от температуры находим значение энергии активации радиационных дефектов  $W_{(001)} = 0.94 \text{ эВ}$ . Анизотропия искажения рентгеновского искажения коррелирует с анизотропией других свойств кристаллов ТГС: в частности, в направлении [001] кристаллы обладают наибольшей электропроводностью с  $W_{(001)} = 0.95 \text{ эВ}$  [6], причем облученные кристаллы имеют повышенную электропроводность по сравнению с необлученными [7]. Из рис. 1, б видно, что кроме искажения в форме «ушей» имеется область с более слабым контрастом, распространяющаяся также в направлении [001]. По-видимому, ее образование связано с диффузией из места облучения более подвижных дефектов, чем те, которые образуют «уши».

Кристалл ТГС является молекулярным кристаллом с различными водородными связями. Рентгеновское облучение может приводить к образованию различного вида дефектов, связанных с ионизацией, возбуждением атомов и разрывом водородных связей. Локальное облучение, имплантация ионов и другие способы создания неоднородной концентрации дефектов в сегнетоэлектрических материалах в сочетании с визуализацией кинетики их неоднородного переключения методом НЖК открывают возможности для изучения процессов диффузии дефектов и выяснения их природы.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Тихомирова Н. А., Донцова Л. И., Пикин С. А., Шувалов Л. А. Письма в ЖЭТФ, 1979, т. 29, № 8, с. 37—39.
- [2] Пешиков Е. В. Действие радиации на сегнетоэлектрики. Ташкент: Фан, 1972. 136 с.
- [3] Волк Т. Р., Медников С. В. В сб.: Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики. Калинин, 1982, с. 85—92.
- [4] Тихомирова Н. А., Донцова Л. И., Гинзбург А. В. и др. ФТТ, 1986, т. 28, № 10, с. 3055—3058.
- [5] Brezina V., Navrankova M. Crystal Res. Technol., 1985, vol. 20, N 6, p. 781—786.
- [6] Polomska M., Hilszer B., Michalczyk M. Ferroelectrics, 1981, vol. 39, N 3, p. 1217—1220.
- [7] Amin M., ABD-Elghani S., Elkonsol S., Riyad M. A. Ferroelectrics, 1983, vol. 47, N 1/2, p. 245—253.

Институт кристаллографии АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
22 апреля 1988 г.