

Подвижность доменных стенок облученного триглицинсульфата

© Л.Н. Камышева, О.М. Голицына, Т.Н. Подгорная

Воронежский государственный университет,
394693 Воронеж, Россия

(Поступила в Редакцию 8 января 1998 г.)

Приводятся результаты исследования температурных зависимостей подвижности доменных стенок μ от дозы рентгеновского облучения в интервале от 20 до 180 kR. Показано, что значения μ неоднозначно зависят от амплитуды переключающего поля и дозы радиации для импульсов тока переключения разной полярности.

Изучение процессов переключения сегнетоэлектрических кристаллов представляет не только общезначимый, но и практический интерес, поскольку существуют устройства, принцип действия которых основан или на самом эффекте переключения, или на зависимости характеристик кристалла от этого процесса [1].

Интегральные характеристики процесса переключения и динамические свойства доменной структуры сильно зависят от наличия в кристалле дефектов разной природы. В большой степени это относится к сегнетоэлектрическому триглицинсульфату (ТГС), кристаллическая структура которого очень сложна [1,2], и радиационное воздействие на кристалл даже небольшими дозами создает в нем большое число радиационных дефектов [3].

Существование радиационных дефектов приводит к большим изменениям сегнетоэлектрических свойств, в том числе и параметров доменной структуры: подвижности доменных стенок, поля и энергии активации. В нашей работе [4], посвященной исследованию особенностей импульсной переполаризации облученных кристаллов ТГС, было показано, что подвижность доменных стенок μ кристалла неоднозначно зависит до дозы рентгеновского облучения (D).

Целью настоящей работы явилось изучение дозных зависимостей подвижности доменных стенок ТГС при его облучении рентгеновскими квантами от источника излучения с энергией 30 keV и мощностью дозы ~ 240 kR/h. Исследования проводились по импульсной методике при частоте следования биполярных импульсов 300 Hz [4,5]. Образцы номинально чистого ТГС представляли собой пластины полярного среза размером $0.4 \times 0.6 \times 0.09$ см с серебряными электродами, нанесенными в вакууме.

Перед измерениями образцы были подвергнуты термическому отжигу при 110°C в течение часа. Далее приводятся результаты исследования для одного из образцов, величина коэрцитивного поля которого после отжига, определенная по петле диэлектрического гистерезиса на частоте 300 Hz, при комнатной температуре составила ~ 350 V/cm. Внутреннее поле оказалось равным нулю.

Методика эксперимента состояла в следующем. Интегральные характеристики процесса переключения (максимальный ток i_{max} , полное время переключения τ_s) измерялись как непосредственно после облучения, так и через 24 h, перед началом следующего облучения. Таким образом, каждая следующая доза облучения набиралась через сутки, и весь цикл измерений занял 10 дней.

Опыты показали, что характеристики переключения, измеренные через несколько минут после облучения и спустя сутки, практически не изменились, т.е. эффект "старения" отсутствовал.

Существует сильная зависимость коэрцитивного поля E_c от дозы облучения. Внутреннее поле после каждого облучения также росло и достигло величины 400 V/cm при дозе 160 kR.

После первого облучения дозой 20 kR импульсы тока переключения, соответствующие противоположным направлениям переполаризующего поля, остались симметричными. При последующих облучениях, начиная с дозы 40 kR, импульсы тока стали асимметричными, причем асимметрия, вызванная наличием внутреннего поля, оказалась максимальной при комнатных температурах. При приближении к точке Кюри асимметрия почти исчезает.

В настоящей работе, как и в предыдущих [4,5], мы предполагали, что в случае импульса с меньшим значением i_{max} и с большей величиной τ_s переполаризующее поле направлено по внутреннему, и назвали этот импульс положительным. Для другого импульса, условно названного отрицательным, внутреннее и переполаризующее поле направлены противоположно, т.е. $i_{\text{max}}^+ < i_{\text{max}}^-$, $\tau_s^+ > \tau_s^-$.

Для расчета значений μ использовалось соотношение

$$\mu = d^2 / U \tau_s, \quad (1)$$

где d — толщина образца, U — переполаризующее поле.

На рис. 1 представлены температурные зависимости μ для положительного и отрицательного импульсов при нескольких дозах облучения. Кривая 1 приведена для необлученного образца. Поведение зависимости $\mu(T)$ в этом случае не отличается от известного из литературы [6], за исключением небольшого максимума, приходящегося на область "перестройки" доменной структуры, характерной для кристалла ТГС [4,5]. Сама аномалия на зависимости $\mu(T)$ может наблюдаться как в виде максимума, так и в виде минимума, что, как показано нами [5], определяется состоянием доменной структуры образца и условиями опыта.

После первого облучения аномалия на кривой $\mu(T)$ исчезает, а значения μ уменьшаются (кривая 2 на рис. 1). Этот результат можно объяснить закреплением части доменных стенок на радиационных дефектах. При

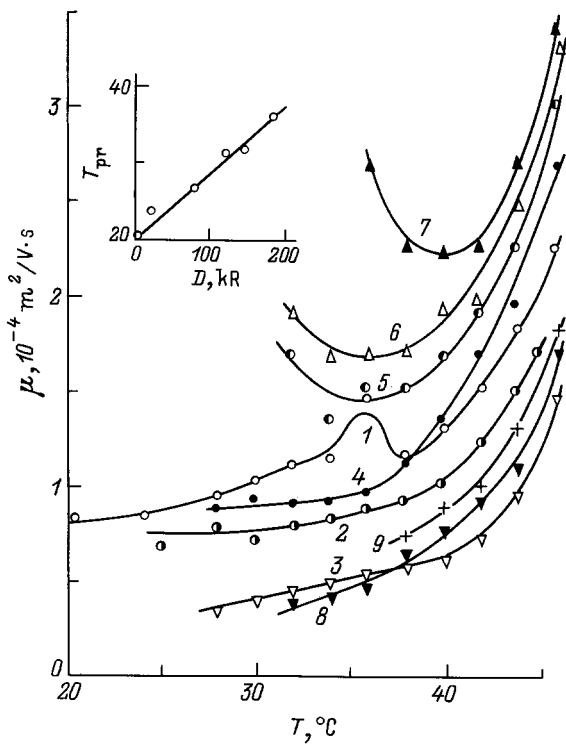


Рис. 1. Температурные зависимости подвижности доменных стенок для отрицательного (4–7) и положительного (3, 8, 9) импульсов тока переключения при различных дозах рентгеновского излучения. $D = 0$ (1), 20 (2), 80 (3), 100 (4), 120 (5, 8), 140 (6) и 180 kR (7, 9). Кривые 1 и 2 относятся к дозам, при которых импульс являлся симметричным.

последующем увеличении дозы радиации значения μ для положительного импульса продолжают уменьшаться (кривая 3 на рис. 1), а для отрицательного импульса не меняются и совпадают со значениями μ , соответствующими кривой 2 на рис. 1. Дальнейшее возрастание концентрации радиационных дефектов приводит к тому, что часть объема образца выключается из процесса переключения с уменьшением полного времени τ_s , что выражается в кажущемся увеличении подвижности доменных стенок, рассчитываемой по (1). Этот эффект проявляется особенно отчетливо для отрицательного импульса (кривые 4–7 на рис. 1) и в меньшей степени для положительного (кривые 8, 9 на рис. 1). Обращает на себя внимание тот факт, что чем больше доза радиации, тем выше температура T_{pr} , при которой в образце начинается процесс переключения при данной величине переполаризующего поля (вставка на рис. 1).

При дозе радиации, равной 40 kR, для отрицательного импульса наблюдается "радиационный отжиг" (рис. 2), обнаруженный нами ранее в применении к полю активации α : уменьшение значений α при дозах 20–40 kR [4]. В данном случае он проявился в возрастании подвижности доменных стенок. С увеличением температуры от комнатной до точки Кюри "отжиг" пропадает, т.е. он имеет место в ограниченном интервале температур, далеких от температуры фазового перехода.

Сильное увеличение подвижности стенок для отрицательного импульса (рис. 3) с дозой радиации по сравнению с положительным свидетельствует, вероятно, о том, что в случае отрицательного импульса из процесса переключения выключается большая часть объема образца. Если считать, что переключаемые объемы пропорциональны временам τ_s^+ и τ_s^- , то, исходя из данных рис. 4, следует допустить, что при температурах, далеких от точки Кюри, переключаемые объемы отличаются примерно в 2 раза ($\tau_s^+/\tau_s^- = 2$) при дозе 80 kR (кривые 1, 2

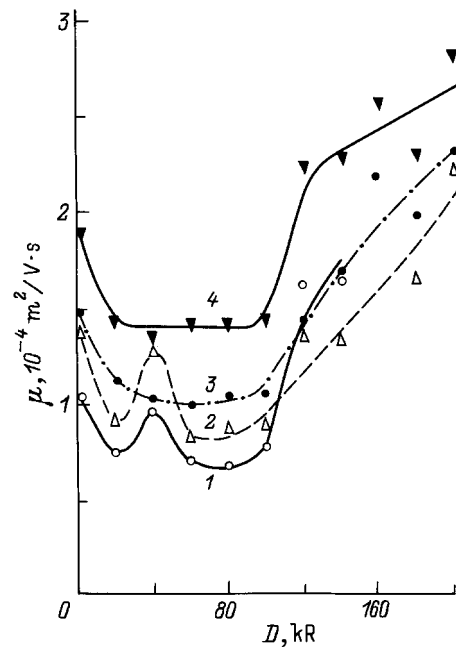


Рис. 2. Зависимости подвижности доменных стенок для отрицательного импульса от дозы рентгеновского излучения при различных температурах. T (°C): 1 — 28, 2 — 36, 3 — 40, 4 — 44.

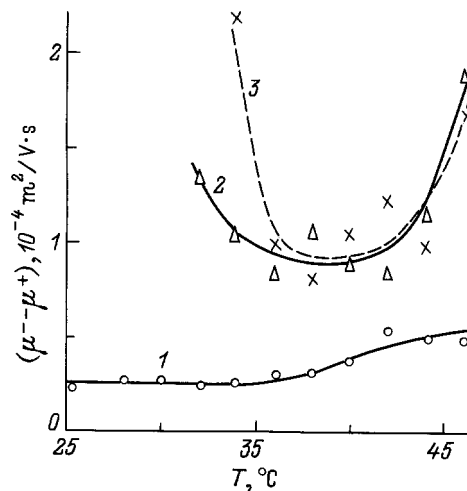


Рис. 3. Температурные зависимости разности подвижности доменных стенок для отрицательного и положительного импульсов тока переключения при дозах рентгеновского излучения $D = 80$ (1), 160 (2) и 180 kR (3).

на рис. 4), при дозе 140 кР это отношение увеличивается еще больше (кривые 3, 4 на рис. 4), а затем с дозой остается неизменным.

Существование в образце сильного внутреннего поля приводит к интересной особенности зависимости μ от амплитуды переполаризующего поля. Для отрицательного импульса μ^- с увеличением поля уменьшается (кривые 1, 3, 5 на рис. 5), а для положительного — значения μ^+ при малых дозах несколько увеличиваются (кривая 2 на рис. 5), а затем практически не меняются (кривые 4, 6 на рис. 5).

Такое неоднозначное поведение зависимостей $\mu(T)$ для импульсов разной полярности мы обнаружили также для кристалла ТГС, легированного хромом, и для дейтерированного ТГС. И хотя природа внутреннего поля в двух последних случаях отличается от созданной радиацией, во всех трех случаях наблюдаются уменьшение μ с ростом поля для отрицательного импульса и возрастание μ для положительного. Условия, при которых наблюдаются эти явления в трех кристаллах группы ТГС, могут отличаться друг от друга, но общая закономерность, отмеченная выше, сохраняется.

Приведем некоторые соображения по этому поводу. Постоянное электрическое поле делает доменную структуру более "жесткой", но одновременно оно же может при определенной его величине отрывать стенки от дефектов-стопоров. Последний эффект наблюдался ранее на дейтерированном кристалле дигидрофосфата калия [7] при измерении диэлектрической проницаемо-

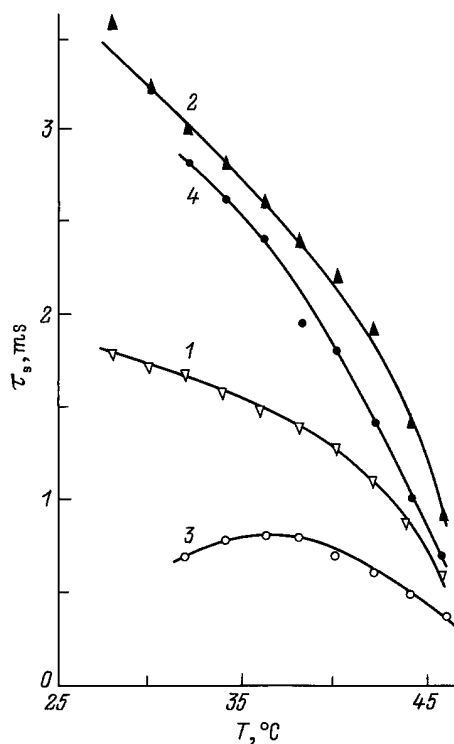


Рис. 4. Температурные зависимости полного времени переключения τ_s для отрицательного (1, 3) и положительного (2, 4) импульсов тока переключения при дозах рентгеновского излучения $D = 80$ (1, 2) и 140 кР (3, 4).

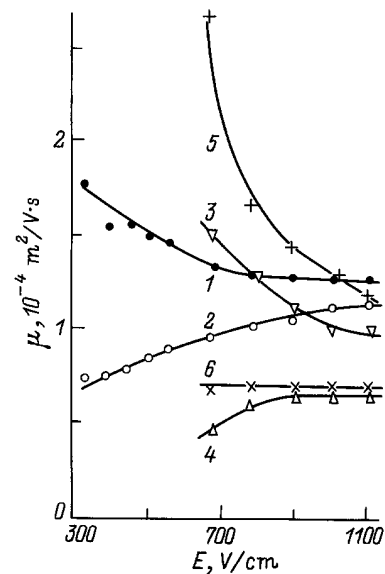


Рис. 5. Полевые зависимости подвижности доменных стенок для отрицательного (1, 3, 5) и положительного (2, 4, 6) импульсов тока переключения при дозах рентгеновского излучения $D = 40$ (1, 2), 120 (3, 4) и 180 кР (5, 6).

сти мостовым методом при одновременном воздействии постоянного электрического поля одного знака. Аналогичный эффект был обнаружен нами при изучении гармонического состава тока переключения [8].

Исходя из результатов опытов, изложенных выше, приходим к заключению, что в случае положительного импульса, когда переключаемое поле и внутреннее имеют одинаковые направления, преобладает эффект отрыва доменных стенок от дефектов, что приводит к освобождению определенного числа доменных стенок и облегчению условий переполаризации. Определенным подтверждением этого вывода является больший по величине переключаемый заряд (q) для положительного импульса (по сравнению с отрицательным). Например, при условиях опыта $T = 36^\circ\text{C}$, $D = 120$ кР, поле равно 670 В/см $q^+ > q^-$ приблизительно в 2 раза.

Список литературы

- [1] Дж. Барфут, Дж. Тейлор. Полярные диэлектрики и их применения. Мир, М. (1981). 526 с.
- [2] М. Лайнс, А. Гласс. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. Пер. с англ. Мир, М. (1981). 736 с.
- [3] А.П. Демьянчук. Автореф. канд. дис. Киев (1976).
- [4] Л.Н. Камышева, О.М. Голицына, С.Н. Дрождин, А.Д. Масликов, А.Б. Барбашина. ФТТ **37**, 2, 388 (1995).
- [5] Л.Н. Камышева, О.А. Косарева, С.Н. Дрождин, О.М. Голицына. Кристаллография **40**, 1, 93 (1995).
- [6] А.С. Сонин, Б.А. Струков. Введение в сегнетоэлектричество. М. (1970). 271 с.
- [7] Л.Н. Камышева, Н.А. Бурданина, О.К. Жуков, Л.А. Беспмятнова. Кристаллография **14**, 1, 162 (1969).
- [8] S.N. Drozhdin, L.N. Kamysheva, Z.A. Liberman. Phys. Stat. Sol. (a) **94**, K69 (1986).