

УДК 53.097

ТОПОЛОГИЯ ИМПУЛЬСОВ БАРКГАУЗЕНА И МЕХАНИЗМЫ СКАЧКООБРАЗНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТЕ

В. В. Иванов, С. А. Борисенко

*Тверской государственный университет,
кафедра физики сегнетоэлектриков и пьезоэлектриков*

Проведено исследование связи между топологией импульсов от скачков Баркгаузена и различными механизмами скачкообразного переключения сегнетоэлектриков. Установлены основные параметры импульсов на различных участках кривой поляризации.

Введение. Процесс переполаризации сегнетоэлектрика так же, как и процесс перемагничивания ферромагнетика, сопровождается скачкообразными изменениями поляризации образца. По аналогии с ферромагнетиками это явление получило название эффекта Баркгаузена в сегнетоэлектриках [1].

Изучение этого эффекта вносит определенный вклад в понимание физических процессов, происходящих при переполаризации сегнетоэлектриков. Обладая высокой чувствительностью, эффект Баркгаузена позволяет проследить процесс перестройки доменной структуры сегнетоэлектрических кристаллов [2]. Особенно целесообразно изучение эффекта Баркгаузена в случаях, когда отсутствуют или затруднены методы непосредственного наблюдения доменной структуры и её динамики. Принципиально важным является вопрос о связи скачкообразных процессов переполаризации и переполаризации кристалла в целом [3].

Математическое описание доменной структуры в триглицинсульфате (ТГС) приведено в [4].

Размером скачка Баркгаузена целесообразно считать величину изменения электрического момента образца при одном скачке. Проведенные расчеты [5] для величины скачка и объёма переполаризующейся области в случае 180-градусных доменов дали следующие зависимости:

$$\Delta P = \frac{Ud\tau}{2R}, \quad (1)$$

$$\Delta V = \frac{Ud\tau}{4RP_s}, \quad (2)$$

где U – амплитудное значение импульса напряжения на входе усилителя, $d\tau$ – длительность электрического импульса от скачка

Баркгаузена, R – сопротивление входа усилителя, d – толщина кристалла, P_S – спонтанная поляризация.

Определив средний размер скачка Баркгаузена и число скачков в процессе переполяризации, можно оценить ту часть объема кристалла, которая переполяризуется скачкообразно.

Параллельные электрические и оптические исследования, проведенные на монокристаллах титаната бария [6] позволили предположить следующие механизмы возникновения скачков переполяризации: зародышеобразование; движение доменной стенки; схлопывание зародышей, слияние двух доменных стенок.

Целью настоящей работы является исследование связи между топологией импульсов от скачков Баркгаузена и различными механизмами скачкообразного переключения сегнетоэлектриков.

Объекты исследования и методика эксперимента. Объектами исследования выбраны плоскопараллельные пластинки Y -среза монокристалла ТГС. Толщины всех исследуемых образцов составляли 1,44 мм. Electroды для проведения измерений наносились на образцы методом напыления серебра в вакууме.

Принципиальная схема установки для исследования эффекта Баркгаузена в сегнетоэлектриках и ее внешний вид представлены на рис. 1.

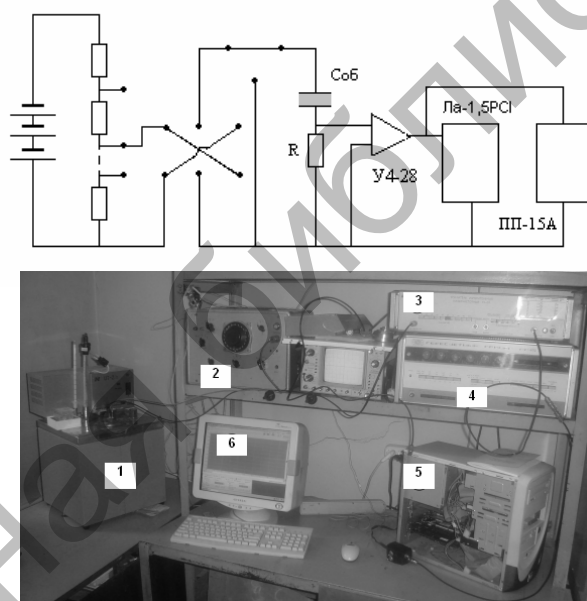


Рис. 1. Установка для исследования эффекта Баркгаузена в сегнетоэлектриках: 1 – термостат с образцом; 2 – коммутатор с батареей сопротивлений и источником тока; 3 – усилитель У4-28; 4 – прибор пересчетный, 5 – IBM PC/AT компьютер с установленной платой АЦП ЛА-1,5РСІ; 6 – устройство вывода (монитор)

Импульсы напряжения, соответствующие скачкам Баркгаузена, с сопротивления R подавались на вход широкополосного усилителя У4-28. На выходе усилителя была включена анализирующая аппаратура: персональный компьютер, оборудованный универсальной платой аналого-цифрового преобразования для IBM PC/AT компьютеров LA-1,5PCI, пересчетный прибор ПП-15А. Для защиты от помех все узлы экранировались и заземлялись. Образцы помещались в металлические цилиндры, которые также заземлялись.

Перед исследованиями образцы в режиме закороченного кристалла были подвергнуты отжигу при температуре 80 и медленно охлаждены до температуры 20 °С.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Исследования проводились по методике ступенчатого изменения поля по кривой поляризации. Соответствующие распределения $N(E)$ и $dN(E)$ изображены на рис. 2.

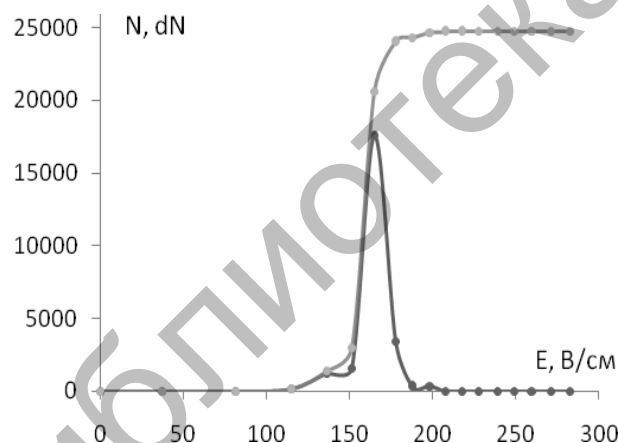


Рис. 2. Дифференциальное и интегральное распределение скачков Баркгаузена на кривой поляризации.

Поле старта равно 136,3 В/см, поле финиша 198,8 В/см. Начало скачков свидетельствует о начале разрушения монокристаллического состояния, т.е. о зарождении антипараллельных доменов. Момент исчезновения скачков с ростом поля дает возможность зафиксировать то значение внешнего поля, при котором поляризация кристалла достигает насыщения и он монокристаллизирован.

На кривой поляризации можно условно выделить 4 участка: участок начальной поляризации, участок интенсивной перестройки доменной структуры, участок преднасыщения, насыщение.

На каждом из них процессы переполаризации осуществляются при помощи различных механизмов.

Согласно [7], выделяют несколько групп скачков Баркгаузена, различных по форме. На участке начальной поляризации происходит

начало распада монодомного состояния. Соответственно, основной вклад в процессы переполаризации дает зародышеобразование. На рис. 3, *a* показано схематическое изображение скачка Баркгаузена, соответствующее процессу зарождения нового домена, а на рис. 3, *б...д* – соответствующие ему реальные скачки.

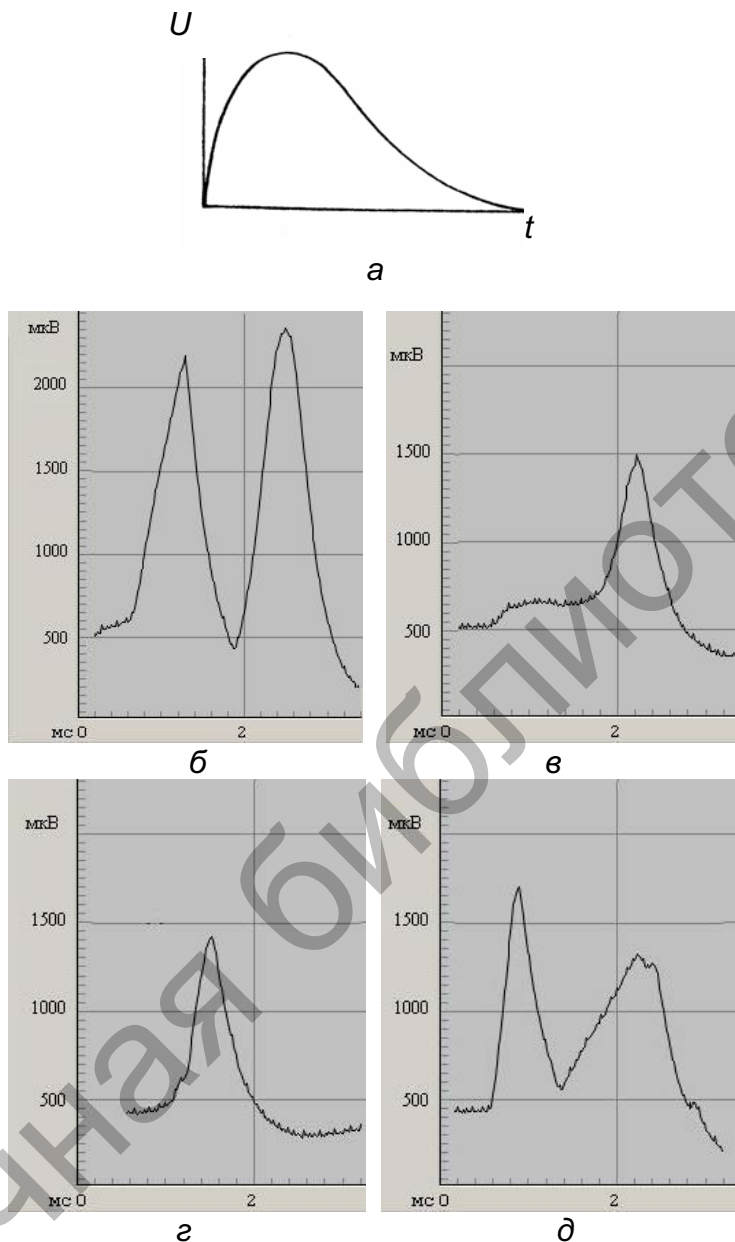


Рис. 3. Схематическое изображение скачка переполаризации, обусловленного зародышеобразованием (*a*) и соответствующие ему реальные импульсы переполаризации (*б...д*).

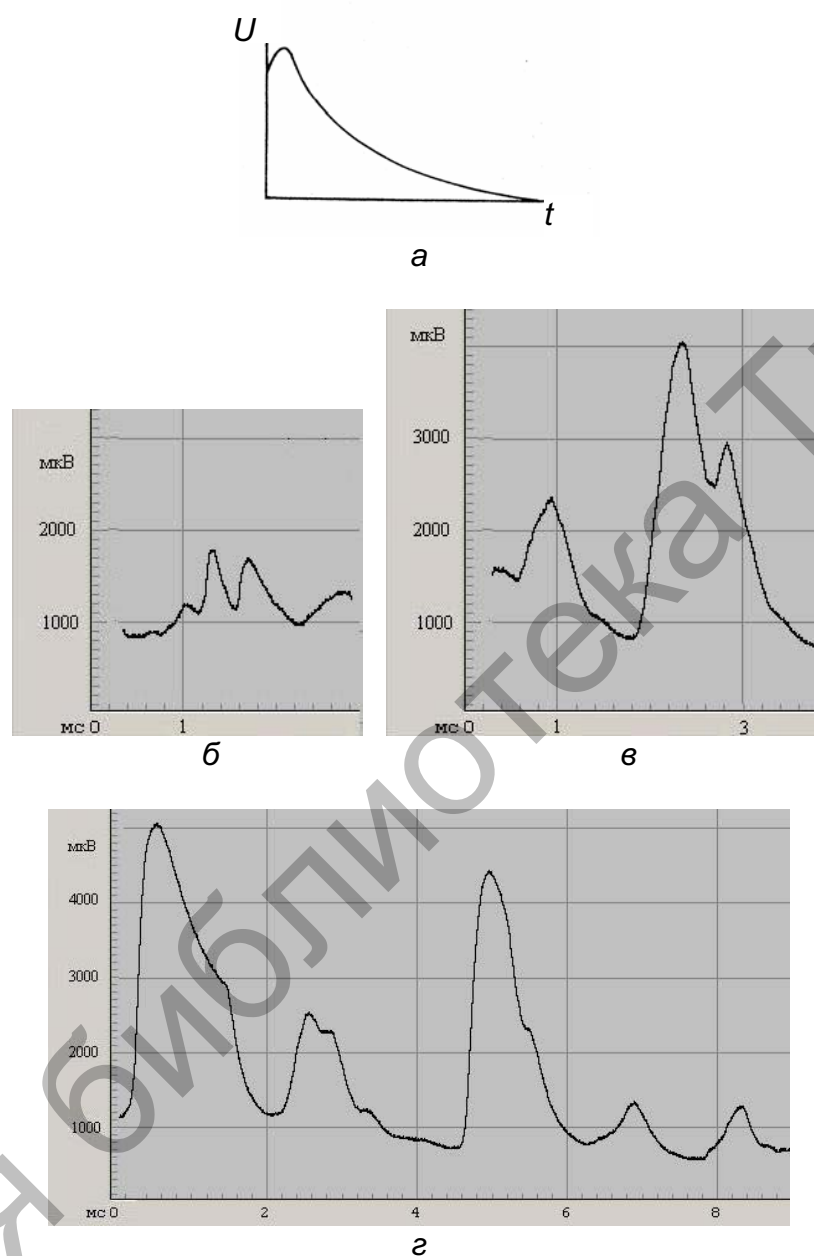


Рис. 4. Схематическое изображение скачка переполаризации, обусловленного движением доменной стенки (а), различные импульсы на участке интенсивной перестройки доменной структуры (б, в) и реальные импульсы переполаризации, соответствующие механизму движения доменных стенок (г).

Амплитуда импульсов на этом участке сравнительно невелика – от 500 до 1500 мкВ. Длительность – 0,8...1,0 мс. В среднем за скачок это соответствует переключаемой поляризации $5,82 \cdot 10^{-13}$ мкКл/см² и объему $0,97 \cdot 10^{-7}$ см³.

Интенсивная перестройка доменной структуры соответствует наиболее крутой части кривой поляризации. На этом участке весьма велик разброс импульсов по амплитуде. Встречаются малые импульсы с амплитудой около 700 мкВ. Основную массу представляют импульсы с амплитудой 1500...3000 мкВ. Амплитуда отдельных импульсов может превышать эту величину на порядок. Средний размер скачка равен $13,66 \cdot 10^{-13}$ мкКл/см², что соответствует переполяризуемому объему $2,44 \cdot 10^{-7}$ см³. Здесь сложно выделить какой-либо преимущественный механизм переполяризации. Совместно с движением стенок уже существующих доменов зарождаются новые, о чем свидетельствует рис. 4. На рис. 4, а показано схематическое изображение скачка Баркгаузена, соответствующего процессу движения доменной стенки на дефектах кристалла. Рис. 4, б показывает группу из двух импульсов, первый из которых свидетельствует о зарождении, а второй – о разрастании домена. Группа импульсов, изображенная на рис. 4, в отражает интенсивный процесс движения доменных стенок.

При приближении к насыщению скачки становятся мельче и реже. Амплитуда их не превышает 250 мкВ. Длительность – 0,4...0,6 мс. Размер скачка и переключаемый объем кристалла соответственно $1,58 \cdot 10^{-13}$ мкКл/см² и $0,29 \cdot 10^{-7}$ см³. Процессы зародышеобразования прекращаются, и на первый план выходит механизм движения доменных стенок. Типичные импульсы скачков Баркгаузена на этом участке представлены на рис. 5.

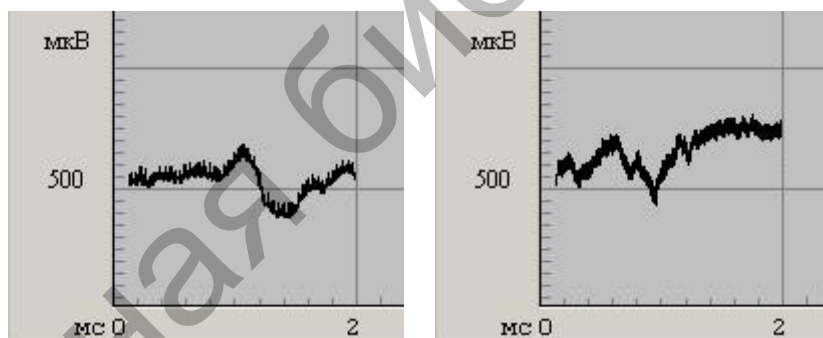


Рис. 5. Импульсы скачков Баркгаузена на участке насыщения

При насыщении скачки редки и носят случайный характер. При закорачивании электродов поляризованного образца на входное сопротивление усилителя скачков переполяризации не наблюдается достаточно длительное время. Это свидетельствует об отсутствии

распада поляризованного состояния. Так как ТГС обладает прямоугольной петлей гистерезиса, т.е. сильным эффектом памяти, то устойчивость доменной структуры позволяет сформировать ПЗУ на его основе.

Таким образом, показана связь между топологией импульсов скачков Баркгаузена и механизмами процессов реполяризации. Установлены основные параметры импульсов на различных участках кривой поляризации. Продемонстрирована возможность применения ТГС в качестве логического элемента памяти.

Список литературы

1. Смоленский Г. А., Боков В. А., Исупов В. А., Крайник Н. Н., Пасынков Р. Е., Шур М. С. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. Л.:Наука, 1971, с. 226.
2. Шур В. Я., Румянцев Е. Л., Куминов В. П. и др. Эффект Баркгаузена при скачкообразном движении плоской доменной стенки в молибдате гадолия // ФТТ. 1999. Т. 41, № 2. С. 301-305.
3. Рудяк В. М. Эффект Баркгаузена как метод исследования сегнетоэлектрических кристаллов // Изв. АН СССР, сер. физ. 1967. Т. 31, 7. С. 1171-1174.
4. Белоненко М. Б. Сасов А. С. Моделирование динамики пространственной доменной структуры сегнетоэлектрического кристалла триглицинсульфата // ФТТ, 2007. Т. 48, № 6. С. 1067-1068.
5. Рудяк В. М. Процессы переключения в нелинейных кристаллах. М.: Наука, 1986, с. 97-98.
6. Рудяк В. М. Эффект Баркгаузена // УФН. 1970. Т. 101, вып. 3. С. 429-462.
7. Рудяк В. М., Богомолов А. А., Иванов В. В. Кинетика скачкообразных процессов в монокристаллах SbSJ // Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики, Калинин, КГУ, 1976, с. 61-64.