

## **ФИЗИКА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ**

---

---

УДК 537.226

### **АНАЛИЗ ОСЦИЛЛОГРАММ СКАЧКОВ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА**

**С.А. Борисенко**

Тверской государственный университет  
*Кафедра физики сегнето- и пьезоэлектриков*

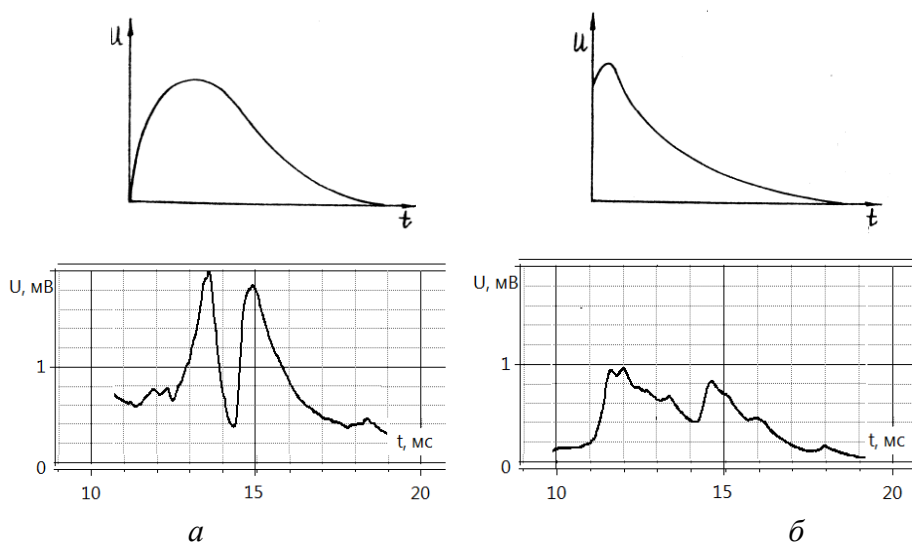
Проведен анализ оцифрованных осциллограмм скачков Баркгаузена. Определена блоковая структура процесса переполаризации в триглицинсульфате с учетом имеющейся информации о связи формы импульсов Баркгаузена с различными механизмами переключения, рассмотрено влияние изменения температуры на механизмы переключения в триглицинсульфате. Расширены и дополнены исследования, касающиеся существования наиболее вероятных скачков Баркгаузена.

**Ключевые слова:** *триглицинсульфат, процессы переполаризации, механизмы переключения, скачки Баркгаузена*

Эволюция сегнетоэлектрической доменной структуры при переполаризации представляет собой сложный процесс зарождения, роста и слияния множества отдельных доменов. Поляризация и переполаризация сегнетоэлектриков сопровождаются скачкообразными процессами изменения поляризации (эффект Баркгаузена). Скачки Баркгаузена, как элементарные акты переключения, обычно связывают с образованием зародышей, сквозным прорастанием отдельных доменов и взаимодействием доменных стенок с дефектами [1]. Каждому механизму образования скачка соответствует определенная его форма [2, 3] (рис 1).

Скачки с пологим фронтом нарастания можно связать с зарождением зародыша новой фазы, в то время как скачки с крутым фронтом нарастания и длительной релаксацией отождествляются с движением доменной стенки. Можно выделить и другие формы скачков Баркгаузена, соответствующие комбинированным или многократным процессам, но в большинстве случаев эти скачки можно представить в виде суперпозиции элементарных актов зародышеобразования, движения доменной границы или слияния отдельных доменов.

Кривую, построенную по интегральным зависимостям скачков Баркгаузена можно условно разбить на три участка: начальной переполаризации, интенсивного следования скачков и насыщения. Процесс переполаризации начинается с возникновения зародышей новой фазы, сопровождающейся скачками по типу а, после чего существенный вклад в процесс переполаризации начинает давать движение доменных стенок (скачки по типу б).



Р и с . 1. Схематическое представление скачков Баркгаузена, обусловленных зародышеобразованием (а), движением доменной стенки [2] (б) и их реальные аналоги в монокристалле триглицинсульфата

Для сегнетоэлектриков с высокой прямоугольностью петли диэлектрического гистерезиса, к которым относится и триглицинсульфат, первые два участка кривой практически совпадают по времени и поэтому трудно различимы между собой. Процессы зародышеобразования и движения доменных стенок начинаются практически одновременно с количественным преобладанием второго процесса.

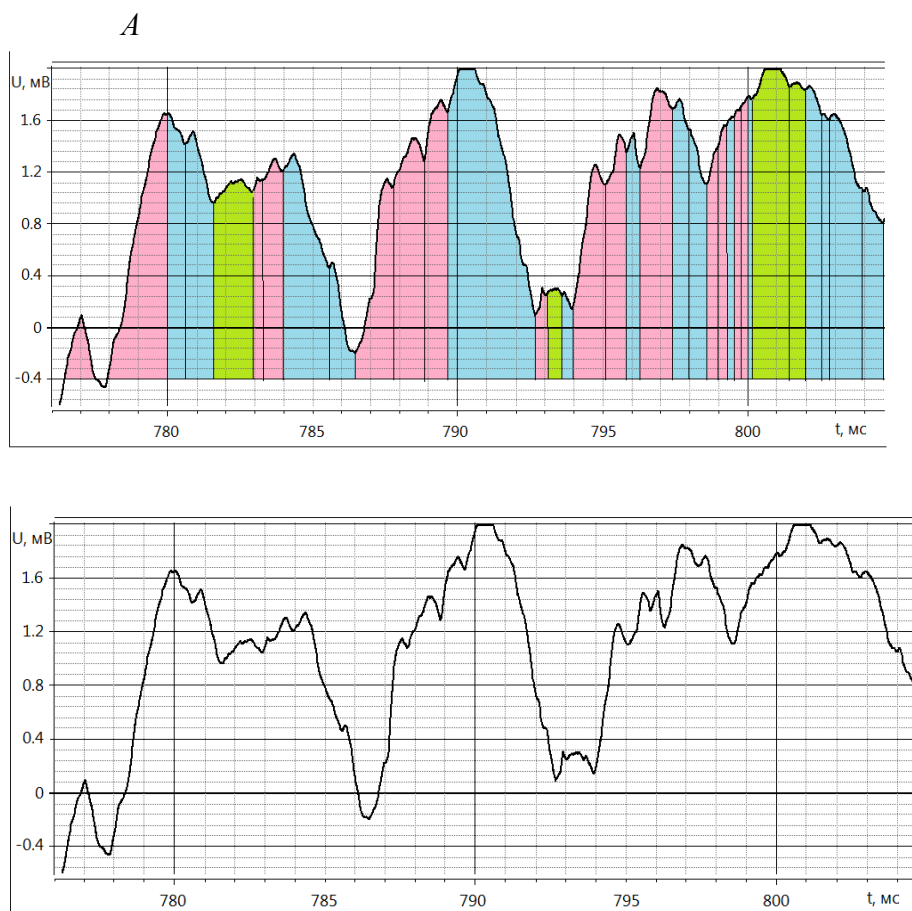
При ступенчатой переполаризации монокристаллов триглицинсульфата характерным видом полной переполаризации на каждой ступени является суперпозиция большого количества серий из одного-двух десятков скачков треугольной формы, накладывающихся друг на друга. При сильном масштабировании эти серии представляются в виде повторяющихся последовательностей: скачка, соответствующего генерации зародыша и нескольких скачков,

соответствующих дискретным перемещениям доменных границ. Можно сказать, что генерация зародыша является неким спусковым механизмом для серии перемещений доменных границ, оканчивающейся схлопыванием соседних доменов в один. На рис. 2, *а* представлена подобная серия скачков Баркгаузена, зарегистрированная спустя 780 мс после наложения электрического поля при температуре эксперимента 25 °С. На рис. 2, *б* представлена та же серия скачков Баркгаузена с отмеченными процессами, которые наиболее вероятно протекают в каждый момент времени в образце. Функциональная схема установки по исследованию эффекта Баркгаузена в сегнетоэлектриках описана в [3]. На участке насыщения скачки Баркгаузена носят единичный характер; по-видимому, данные скачки являются случайными, закономерности между частотой появления, формой импульса и их количеством выявлено не было.

Под влиянием различных внешних воздействий доменная структура и характер ее перестройки могут существенно изменяться. Наиболее простым внешним воздействием является повышение температуры образца. Рассмотрим влияние повышения температуры на скачкообразные процессы переключения. Необходимо заметить, что при повышении температуры отмечается общее уменьшение интегрального числа скачков Баркгаузена, при этом максимум дифференциального распределения смещается к оси  $N$ . Для различных образцов соотношение интегрального числа скачков Баркгаузена при комнатной температуре и при температуре 45 °С будет различаться в 2...3 раза. Этот разброс значений обусловлен различием в геометрии и дефектности кристаллов.

Можно заметить, что для интервала температур 25...35 °С общий вид осциллограмм соответствует изображенному на рис. 2, то есть наблюдается суперпозиция из серий генерация зародыша – движение доменных стенок – схлопывание, однако уже при температурах 35 °С и выше процессы зародышеобразования обособляются и число скачков Баркгаузена, соответствующих данному процессу, увеличивается относительно общего числа скачков. Количество скачков, соответствующих процессу движения доменных стенок, на первый взгляд, уменьшается. Однако было обнаружено, что длительность таких скачков увеличивается на порядок и без уменьшения масштаба такие скачки неразличимы. С повышением температуры вплоть до точки фазового перехода легко различаются скачки зародышеобразования,

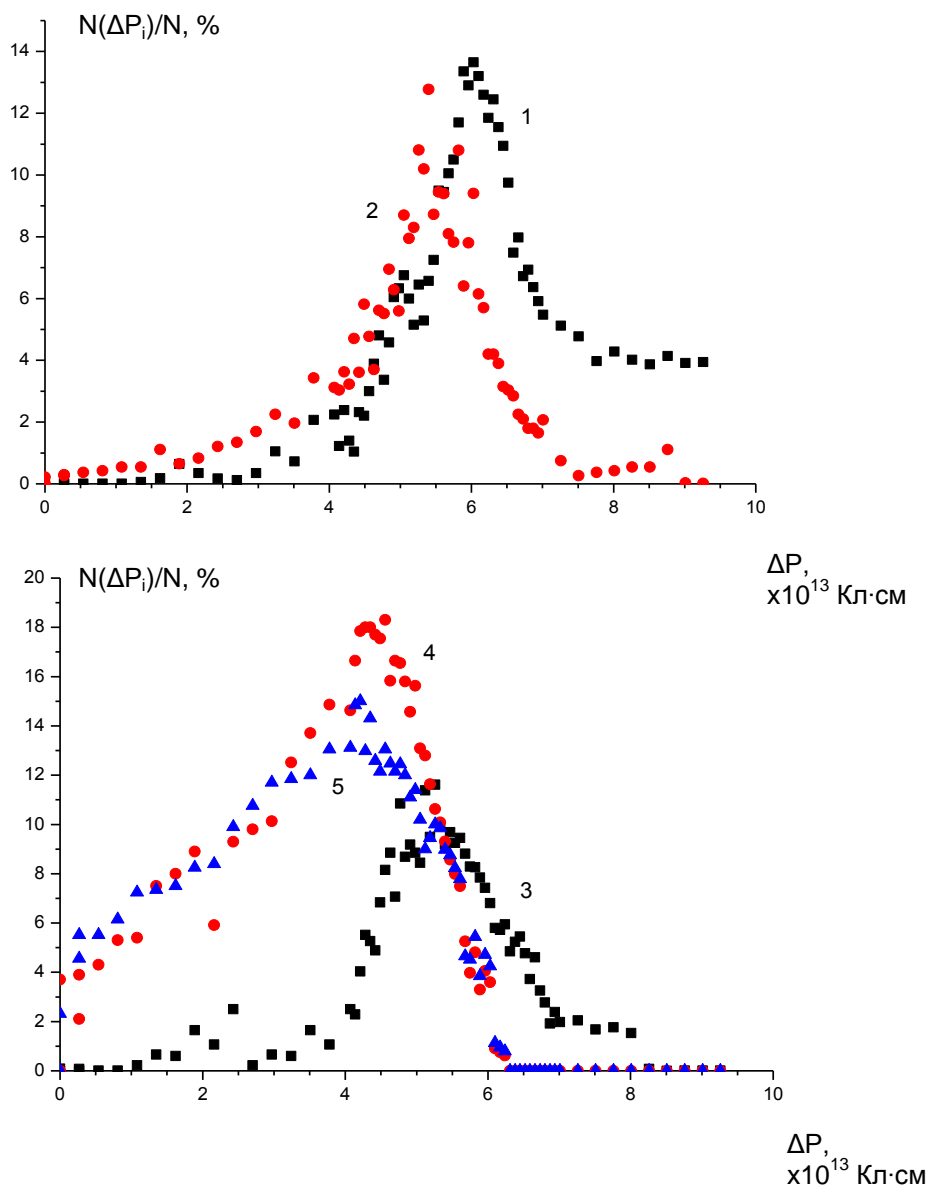
при этом также увеличивается длительность скачков, соответствующих движению доменной стенки.



Р и с . 2. Серии скачков Баркгаузена в монокристалле триглицинсульфата.

Цветом отмечены процессы, приводящие к скачку: розовый – зародышеобразование, голубой – движение ДС, зеленый – схлопывание отдельных доменов

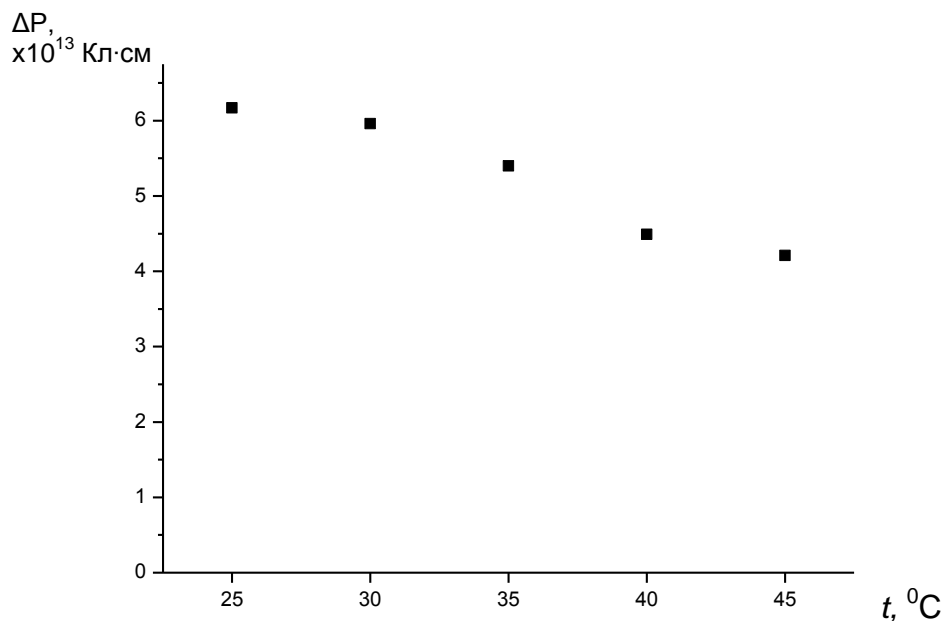
Очевидно также общее уменьшение амплитуд скачков Баркгаузена с ростом температуры. Амплитудные распределения, имеющие степенную зависимость частоты возникновения от амплитуды и их температурный ход подробно описывались в [4]. При пересчете амплитуд в переключаемый дипольный момент (т.е. с учетом длительности скачка), были получены распределения, имеющие явный максимум (рис. 3).



Р и с . 3. Распределения скачков Баркгаузена по размерам при температуре 25 (1), 30 (2), 35 (3), 40 (4) и 45°C (5)

Существование максимума распределений позволяет предположить, что для каждого температурного интервала существует определенный размер скачков, которыми преимущественно осуществляется переключение. Следует отметить, что распределения скачков по размерам строились для группы из 12 монокристаллов: для отдельных кристаллов с различной геометрией положение максимумов

на распределениях скачков Баркгаузена по размерам может меняться в пределах  $0.8 \cdot 10^{-13}$  Кл·см. Температурная зависимость размеров наиболее вероятных скачков Баркгаузена приведена на рис. 4.



Р и с . 4. Размеры наиболее вероятных импульсов от скачков Баркгаузена при различных температурах

Тенденцию уменьшения размера скачков с ростом температуры, по нашему мнению, следует связать, с одной стороны, с увеличением подвижности доменных границ, и, с другой стороны, с уменьшением объема переключающейся области и уменьшением спонтанной поляризованности. Механизм движения доменной стенки подразумевает закрепление на напряженных участках внутри кристалла. Чем большую энергию имеет дефект, тем дольше он задержит доменную стенку, и тем больше будет амплитуда импульса при срыве. При увеличении подвижности доменной границы, переключение кристалла может осуществляться быстрее и без эффектов закрепления доменной границы на дефектах, приводящих к высокоамплитудным скачкам Баркгаузена. В то же время, увеличение подвижности приведет к возможности появления скачков большой длительности (порядка

10...20 мс), совершенно не характерных для триглицинсульфата при комнатных температурах.

#### **Список литературы**

1. Рудяк В.М. Эффект Баркгаузена // Успехи физических наук. 1970. Т. 101. Вып. 3. С. 429-462.
2. Рудяк В.М., Богомолов А.А., Иванов В.В. Кинетика скачкообразных процессов в монокристаллах  $SbSJ$  // Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики. Калинин: КГУ, 1976. С. 61-64.
3. Иванов В.В., Борисенко С.А. Топология импульсов Баркгаузена и механизмы скачкообразного переключения в триглицинсульфате // Вестник ТвГУ, сер. Физика. 2009. № 3, вып. 4. С. 46-53.
4. Борисенко С.А., Иванов В.В. Об элементарных актах переключения в монокристаллах триглицинсульфата // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения: «INTERMATIC-2011». М.: МГТУ МИРЭА – ИРЭ РАН, 2011. Часть 2. С. 131-134.

#### **ANALYSIS OF POLARIZATION REVERSAL JUMPS OSCILLOGRAMS IN TRIGLYCINE SULPHATE SINGLE CRYSTALS**

**S. A. Borisenko**

Tver State University, 170100, Tver

*Chair of Segneto- and Piezoelectric Physics*

An analysis is given of digitized Barkhausen jumps oscillograms. The block structure of polarization reversal processes in triglycine sulphate is determined taking into account the available information on the relation between the Barkhausen jumps shape and different polarization reversal mechanisms. The effect of temperature changes on switching mechanisms is considered. The studies of the existence of most probable Barkhausen jumps size are developed.

**Keywords:** *triglycine sulphate, polarization reversal processes, switching mechanisms, Barkhausen jumps.*

**Об авторе:**

БОРИСЕНКО Сергей Александрович – аспирант физико-технического факультета ТвГУ; *email:* [socrat15@yandex.ru](mailto:socrat15@yandex.ru)