

# Термически индуцированные скачкообразные импульсные процессы в кристалле ниобата бария-стронция с примесями металлов

© А.В. Бурцев, Б.Б. Педько, Т.О. Зазнобин, А.Н. Юпатов, К.Н. Котрова

Тверской государственный университет,  
Тверь, Россия

E-mail: lexebur@inbox.ru

Исследованы особенности протекания скачкообразных импульсных процессов переключения спонтанной поляризации кристаллов сегнетоэлектрика-релаксора ниобата бария-стронция. На основании зафиксированных параметров скачкообразных импульсов переключения выделено три возможных механизма их возникновения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 08-02-97502-р\_центр\_a и программы Минобразования РНП 2.1.1.3674.

PACS: 77.80.-e, 77.80.Bh, 77.80.Fm

Основным фундаментальным свойством сегнетоэлектрических кристаллов является способность к реориентации спонтанной поляризации. Как правило, это явление сопровождается скачкообразными процессами переключения локальных областей кристалла — эффектом Баркгаузена. Основные закономерности протекания эффекта Баркгаузена взаимосвязаны с закономерностями протекания процессов переполяризации в кристалле в целом, хотя лишь небольшая доля объема кристалла переключается скачкообразно. Параметры скачков Баркгаузена позволяют определить механизмы переключения сегнетоэлектрических кристаллов и минимальные размеры переключающихся областей, что является актуальным для создания памяти на основе сегнетоэлектриков (FeRAM). Было проведено исследование основных закономерностей протекания термоиндуцированных скачкообразных процессов переключения на полярных и неполярных срезах конгруэнтного кристалла ниобата бария-стронция (SBN:0.61), изучены основные характеристики импульсов, определено влияние фоторефрактивных примесей Cr, Ce, а также Rh и Eu на протекание этих процессов в кристаллах SBN. В качестве базового метода исследования применялся метод теплового эффекта Баркгаузена [1,2], используемый совместно с внешним электрическим полем, подаваемым на образцы для интенсификации процессов переключения.

В работе [3] установлено, что максимумы зависимости интенсивности протекания термоиндуцированных импульсов переключения от температуры в кристаллах SBN, чистом и с примесями, приходится на три области (рис. 1): 1 — область до фазового перехода, 2 — область температуры, близкой к температуре фазового перехода, 3 — область протекания скачкообразных процессов после фазового перехода. Наличие скачкообразных импульсов переключения при температуре выше температуры фазового перехода, определенной по максимуму диэлектрической проницаемости, является нехарактерным для сегнетоэлектрических кристаллов и может быть объяснено релаксорными свойствами SBN.

Установлено, что все многообразие импульсов переключения во всех исследуемых кристаллах можно разделить на следующие виды: типичный импульс (рис. 2), двугорбый импульс как разновидность типичного (рис. 3) и биполярный импульс (рис. 4). При этом все они в той или иной степени характерны для всех кристаллов, что свидетельствует о существовании трех возможных механизмов переключения в SBN.

Импульсы типичной формы, треугольные в первом приближении, могут быть, с одной стороны, обусловлены возникновением зародышей новой фазы в объеме кристалла. При этом образование нескольких экстремумов на фронтах нарастания и спада данных импульсов (рис. 2) объясняется протеканием многократных процессов зародышеобразования, которые накладываются друг на друга. Другой причиной возникновения типичных импульсов с более пологим фронтом спада может служить движение доменных стенок в кристалле в направлении, перпендикулярном направлению спонтанной поляризации. Характерный фронт спада импульсов переключения связывается с релаксацией протекающе-

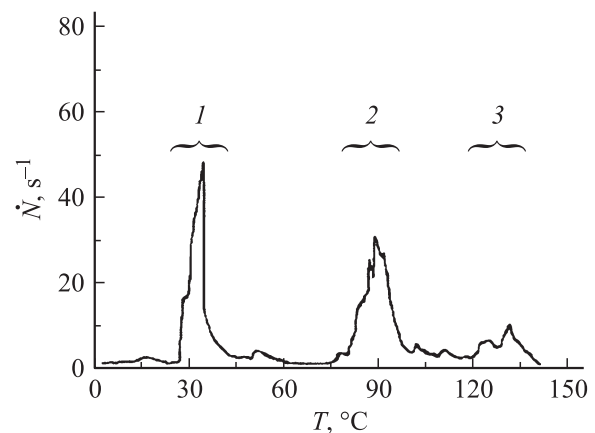
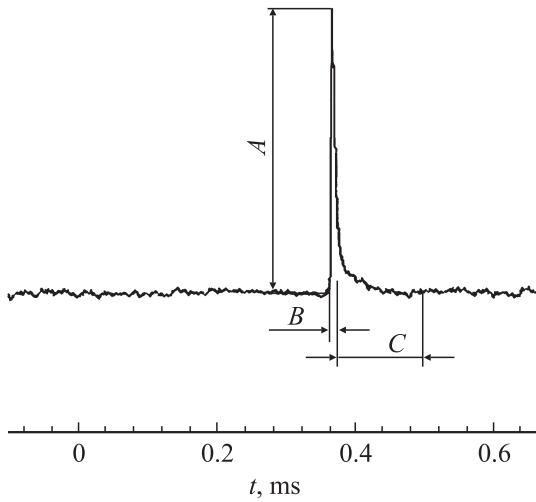
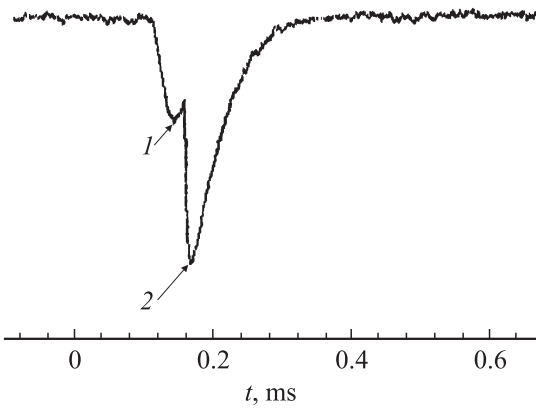


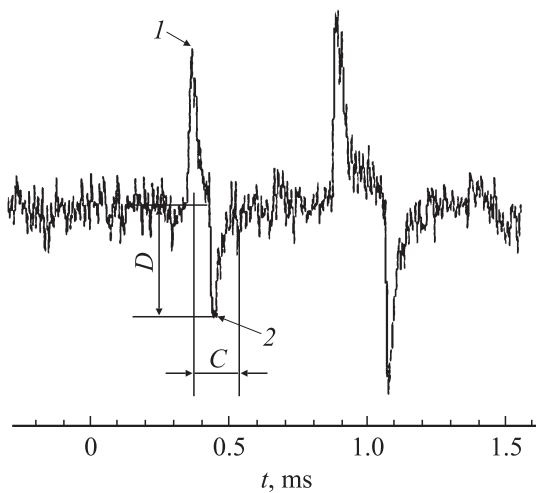
Рис. 1. Три области максимальной интенсивности следования импульсов переключения кристалла SBN, легированного Ce с концентрацией  $[Ce] = 500$  ppm.



**Рис. 2.** Типичный импульс переключения. Деполяризованный SBN: (500 ppm Ce + 500 ppm Cr), полярный срез.  $T \approx 80^\circ\text{C}$ . *A* — амплитуда скачка, *B* — время скачка, *C* — время релаксации сигнала.



**Рис. 3.** „Двугорбый“ импульс. Деполяризованный SBN:Ce ([Ce] = 500 ppm), полярный срез.  $T \approx 82^\circ\text{C}$ . *1* — первый экстремум, *2* — второй экстремум.



**Рис. 4.** Биполярный импульс. SBN:Ce ([Ce] = 500 ppm), отожженный и поляризованный, полярный срез.  $T \approx 83^\circ\text{C}$ . *1*, *2* — скачки переполаризации. *C* — время релаксации сигнала, *D* — глубина релаксации.

го заряда в  $RC$ -цепи исследовательской установки [2]. Данное утверждение верно не в полной мере, так как зафиксированные импульсы переключения в кристаллах SBN обладали широким диапазоном времени релаксации импульсов и их формы при одинаковой амплитуде, что, естественно, свидетельствует о влиянии особенностей механизма переключения на форму импульса. Пологий фронт спада обеспечивается процессом экранирования поляризации, приводящим кристалл в новое равновесное состояние после ее изменения. Таким образом, данный механизм должен быть более выражен для кристаллов с фоторефрактивными примесями, что наблюдалось экспериментально. Биполярные импульсы переполаризации кристалла могут быть объяснены как процесс прорастания зародыша либо „схлопывания“ домена сегнетофазы (в парафазе) с последующей релаксацией экранирующего заряда. Это объясняет равенство площадей разнополярных частей биполярного импульса. На возможность этого механизма указывают результаты работы [4], в которой обнаружена возможность существования организованных в полярные микроразмерные области групп нанодоменов вплоть до температур, превышающих температуру фазового перехода на 30 К. Биполярные импульсы выше температуры фазового перехода могут быть связаны с распадом упорядоченного сегнетоэлектрического состояния в этих микродоменах ( $10^{-5}$  м) и переходом в параэлектрическую фазу с разупорядоченной нанодоменной структурой.

В работе проведена оценка максимального изменения дипольного электрического момента образца  $\Delta P$  и объема переполаризующейся области  $\Delta v$  при одиночном скачке по методике [1,2]. Например, в кристалле чистого деполяризованного SBN амплитуда импульсов не превышала 0.2 мВ, а длительность — 0.25 мс, максимальная продолжительность скачка переполаризации — 0.04 мс. В итоге  $\Delta P \sim 4 \cdot 10^{-14}$  С · см, а  $\Delta v \sim 10^{-9}$  см<sup>3</sup>, т.е. переключаются макроскопические области кристалла.

Учитывая малое время продолжительности скачка переполаризации, следует предположить, что появление скачков подобного характера обусловливается возникновением зародышей новой фазы в объеме кристалла.

Поляризация кристалла чистого SBN приводит к увеличению амплитуды и длительности импульсов, объема переполаризующейся области и уменьшению дипольного электрического момента.

Установлено, что наличие примеси хрома в кристалле SBN практически не сказывается на амплитуде наблюдаемых импульсов переключения и оказывает сильное влияние на его время протекания, увеличивая также максимальное изменение дипольного электрического момента образца и объем переполаризующейся области после фазового перехода.

Введение примеси Се значительно увеличивает амплитуду импульсов переключения и время их протекания. Максимальное изменение дипольного электрического момента образца и объем переполаризующейся

области увеличивается на два порядка для больших концентраций примеси (4000 ppm).

Поляризация образцов SBN, легированных примесью хрома, приводит к увеличению амплитуды, продолжительности скачков и импульсов реполяризации. В кристалле, легированном церием, наблюдается противоположный эффект.

Влияние примесей родия и европия на протекание термоиндуцированных импульсов переключения в SBN сходно с влиянием примесей хрома и церия соответственно.

Авторы благодарят профессоров S. Karphan и R. Pankrath (Университет г. Оснабрюк, ФРГ) за предоставление кристаллов для исследования.

## Список литературы

- [1] В.М. Рудяк. Изв. АН ССР. Сер. физ. **34**, 12, 2597 (1970).
- [2] В.М. Рудяк, В.Е. Камаев. Изв. АН СССР. Сер. физ. **29**, 937 (1965).
- [3] Н.Н. Большакова, Т.О. Зазнобин, В.В. Иванов, Е.Б. Муравьева, Б.Б. Педько. ФТТ **48**, 1, 967 (2006).
- [4] P. Lehnen, W. Kleemann, Th. Woike, R. Pankrath. Phys. Rev. B **64**, 224 109 (2001).