

## **ФИЗИКА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ**

УДК 537.226

### **ПРОЦЕССЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И СЕГНЕТОЭЛАСТИЧЕСКОЙ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ НИОБИЙСОДЕРЖАЩИХ КРИСТАЛЛОВ ТИТАНАТА БАРИЯ**

**Н.Н. Большакова, О.В. Большакова, В.В. Иванов, Т.И. Иванова**

*Тверской государственной университет,  
кафедра физики сегнетоэлектриков и пьезоэлектриков*

Приведены результаты исследований процессов переполяризации ниобийсодержащих кристаллов титаната бария в изменяющихся методом коммутаций электрических полях. Установлено, что основное время переключения кристаллов  $\text{BaTiO}_3: \text{Nb}^{5+}$  определяется изменением его сегнетоэлектрической  $180^\circ$  доменной структуры.

Широкое применение кристаллов титаната бария в качестве пьезоэлектрических датчиков и преобразователей инфракрасного излучения требует детального изучения их физических свойств, которые существенно зависят от разного рода дефектов. Целью настоящей работы являлось исследование процессов перестройки сегнетоэлектрической и сегнетоэластической доменной структуры ниобийсодержащих монокристаллов титаната бария в электрических полях.

Исследования проведены методами электрического эффекта Баркгаузена и поляризационно-оптическим. Наблюдение доменной структуры осуществлялось в направлении  $[001]$  в проходящем поляризованном свете при комнатной температуре. Изменение электрического поля, направленного по  $[001]$ , соответствовало ступенчатому прохождению все возрастающих частных, а затем и полных петель диэлектрического гистерезиса (метод коммутаций) [1]. Объектами исследования выбраны кристаллы  $\text{BaTiO}_3: \text{Nb}^{5+}$ , выращенные методом Ремейки в расплаве KF и содержащие 0,1; 0,3; 0,9 мол. % примеси в расплаве.

В работе [2] показано, что исходная доменная структура ниобийсодержащих кристаллов преимущественно состоит из мелких  $a$ -доменов. В отличие от беспримесного кристалла  $\text{BaTiO}_3$ , разбитого на крупные  $a$ - и  $c$ -доменные блоки, доля  $c$ -доменов в пластинах  $\text{BaTiO}_3: \text{Nb}^{5+}$  незначительна. Визуально наблюдаемая  $a$ -доменная структура одновременно является сегнетоэлектрической и сегнетоэластической [3].  $c$ -доменная  $180^\circ$  структура поляризационно-

оптическим методом в направлении [001] неразличима, поэтому ее переключение изучено методом эффекта Баркгаузена.

Результаты исследования процессов переключения кристаллов ВаTiO<sub>3</sub>: Nb<sup>5+</sup> методом коммутаций приведены на рис. 1. В этом случае кривые  $N(E)$  проходят через максимумы при  $E \sim 1,5...2$  кВ·см<sup>-1</sup>. Это свидетельствует о том, что при таком изменении электрического поля существует пороговая скорость изменения электрического состояния кристалла, выше которой скачкообразные процессы переполаризации с ростом напряженности поля играют все меньшую роль.

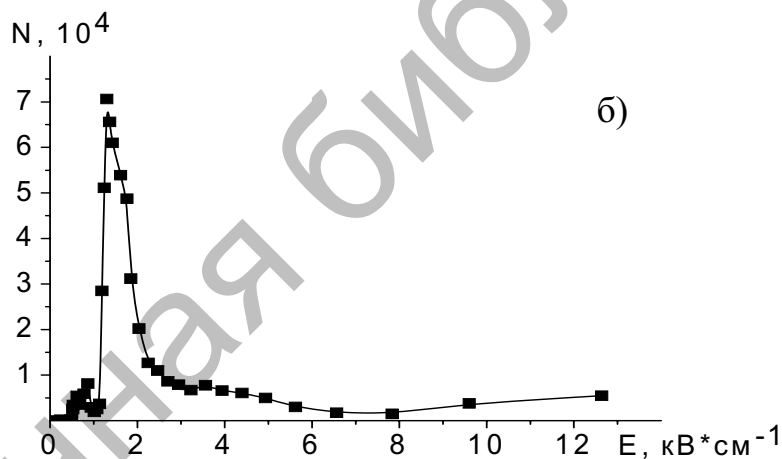
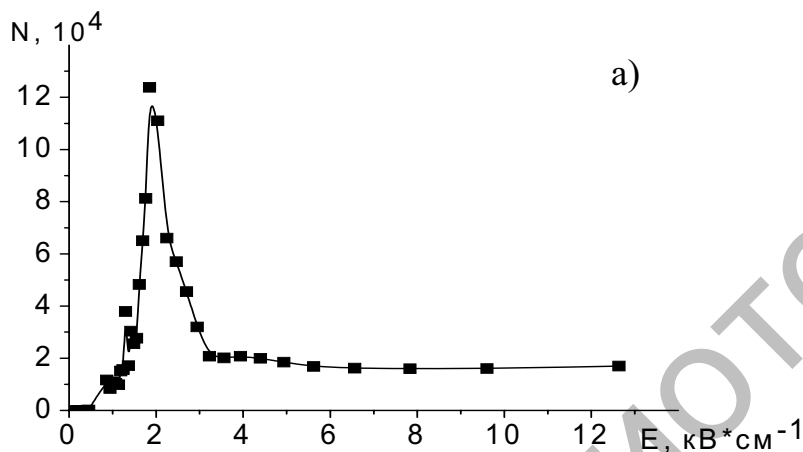


Рис. 1. Кривые распределения числа скачков переключения по полю, полученные для ниобийсодержащего кристалла ВаTiO<sub>3</sub> ( $c = 0,9$  мол.%) при  $T = 25^\circ\text{C}$ : а) коммутация (-)  $\rightarrow$  (+); б) коммутация (+)  $\rightarrow$  (-).

При исследовании процессов переключения кристаллов  $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$  в возрастающих электрических полях время перестройки доменной структуры фиксировалось по длительности следования скачков Баркгаузена. Установлено, что полевые зависимости времени следования скачков переполаризации проходят через максимумы. При изменении электрического поля от  $0,1$  до  $4 \text{ кВ}\cdot\text{см}^{-1}$  время переключения сегнетоэлектрической структуры возрастает от  $0,1$  до  $(250\dots350)$  с. С дальнейшим ростом поля до  $16 \text{ кВ}\cdot\text{см}^{-1}$  оно существенно уменьшается. Визуально наблюдаемая доменная структура перестраивается значительно быстрее: в указанных выше полях этот процесс заканчивается за  $6\dots10$  с. Соответствующие данные для  $E = 5 \text{ кВ}\cdot\text{см}^{-1}$  приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Времена перестройки сегнетоэластической доменной структуры и следования скачков Баркгаузена кристаллов  $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$

Концентрация $\text{Nb}^{5+}$ , мол.%	Время перестройки сегнетоэластической доменной структуры, с	Время следования скачков Баркгаузена, с
0	5	80
0,1	4	120
0,3	4	160
0,9	5	100

Это свидетельствует о том, что основное время переключения кристаллов  $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$  определяется изменением сегнетоэлектрической  $180^\circ$  доменной структуры, которая поляризационно-оптическим методом в направлении  $[001]$  не выявляется.

Для объяснения полученной закономерности были проведены исследования топографии импульсов, соответствующих скачкам переполаризации. На рис. 2 приведен типичный вид скачка Баркгаузена для ниобийсодержащих кристаллов титаната бария. Виден крутой фронт нарастания импульса и релаксационный спад. В литературе [4] такой вид скачков связывается с переполаризацией сегнетоэлектрических доменов. Куполообразные импульсы, ответственные за переключение сегнетоэластической доменной структуры, не наблюдались.

Результаты оценки размера ( $\Delta P_{cp}$ ), длительности ( $\tau_{cp}$ ) скачка; переполаризующегося при одном скачке объема ( $\Delta V_{cp}$ ); доли общих объемов образцов, переполаризующихся при одном скачке ( $\beta$ ) и при прохождении кривой поляризации ( $\eta$ ) для исследуемых кристаллов представлены в табл. 2.

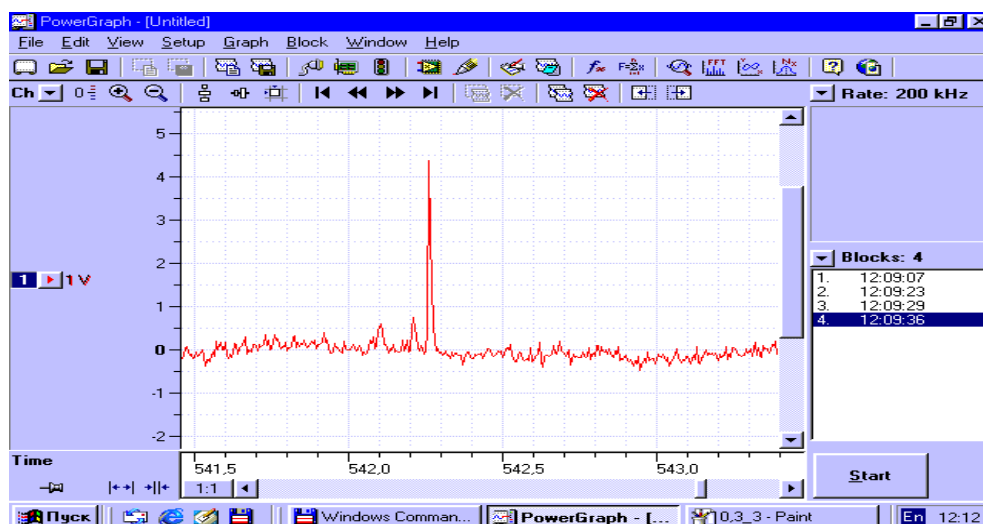


Рис. 2. Типичный вид скачка переключения, полученный для кристалла  $\text{BaTiO}_3: \text{Nb}^{5+}$  ( $c = 0,9$  мол. %) при  $T = 25^\circ\text{C}$ .

Таблица 2. Оценки размера  $\Delta P_{cp}$ , длительности  $\tau_{cp}$  скачков при переполаризации объема  $\Delta V_{cp}$  и доли общих объемов образцов, переполаризующихся при одном скачке ( $\beta$ ) и при прохождении кривой поляризации ( $\eta$ )

$d$ , $10^{-3}$ см	$c$ , мол. %	$\Delta P_{cp}$ , $10^{-14}$ Кл·см	$\Delta V_{cp}$ , $10^{-9}$ , см <sup>3</sup>	$\tau_{cp}$ , мкс	$\beta$ , $10^{-4}$ %	$\eta$ , %
12	0	1,0	0,8	0,4	0,5	2,0
30	0,1	1,3	1,1	0,3	0,2	1,0
12	0,3	0,8	1,05	0,4	0,7	2,5
14	0,9	1,2	1,1	0,4	0,7	9,0

Для чистого титаната бария в литературе [1] приводятся следующие значения параметров скачков переключения, полученные осциллографическим методом:  $\Delta P_{cp} = 5 \cdot 10^{-13}$  Кл·см,  $\Delta V_{cp} = 10^{-8}$  см<sup>3</sup> и  $\tau_{cp} = 10^{-4}$  с. В настоящей работе топография импульсов изучена с помощью платы, содержащей аналого-цифровой преобразователь, поэтому параметры импульсов отличаются на порядок, а длительность – на два порядка.

Известно, что скачки переполаризации следуют не только в момент приложения к образцу электрического поля, но и при его неизменном значении. Существование запаздывающих скачков Баркгаузена объясняется вязкостными явлениями в сегнетоэлектриках. Поэтому полученные закономерности можно объяснить на основе модельных представлений о роли диэлектрической вязкости в

процессах переключения кристаллов. Временной ход скачкообразной и полной поляризации кристалла носит аналогичный характер [1]. Это позволяет рассчитать коэффициент диэлектрической вязкости кристаллов согласно соотношению

$$\beta = \frac{E(t_2 - t_1)}{\ln \frac{N_0 - N_1}{N_0 - N_2}}, \quad (1)$$

где  $N_0$  – общее число скачков, вызванное приложением внешнего электрического поля  $E$  к деполяризованному образцу,  $N_1$  и  $N_2$  – число скачков, возникающих к моментам времени  $t_1$  и  $t_2$  соответственно.

На рис. 3 представлена полевая зависимость коэффициента диэлектрической вязкости, рассчитанная согласно (1) для кристалла  $\text{BaTiO}_3: \text{Nb}^{5+}$  ( $c = 0,9$  мол. %).

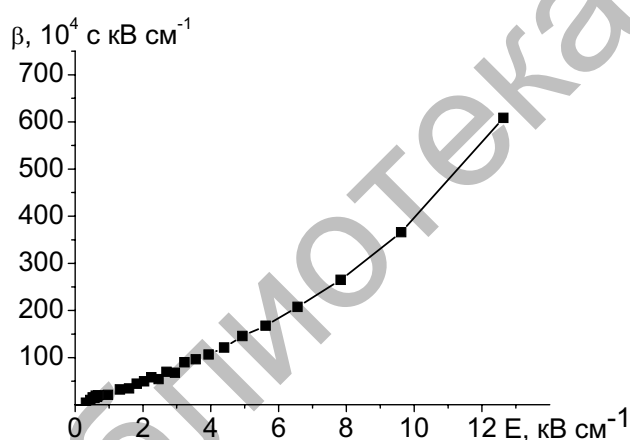


Рис. 3. Полевая зависимость коэффициент диэлектрической вязкости, рассчитанная для кристалла  $\text{BaTiO}_3: \text{Nb}^{5+}$  ( $c = 0,9$  мол.%).

Видно, что значения коэффициента диэлектрической вязкости монотонно возрастают в интервале  $(0,2...600) \cdot 10^4$  с  $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$  при изменении электрического поля от 0,1 до 14  $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Аналогичные зависимости получены и для кристаллов, содержащих 0,1 и 0,3 мол. % ниобия.

Известно [1], что время установления всей поляризации кристалла равно времени установления ее необратимой части, обусловленной скачками Баркгаузена. Длительность этого процесса существенно зависит от значения коэффициента диэлектрической вязкости. С ростом  $\beta$  время следования скачков переключения возрастает. Аналогично можно интерпретировать различия во временах перестройки сегнетоэластической и сегнетоэлектрической доменной

структуры ниобийсодержащих кристаллов  $\text{BaTiO}_3$  в случае коммутации электрического поля.

**Выводы.** Во всех исследованных ниобийсодержащих кристаллах титаната бария наблюдаются процессы переключения под воздействием электрических полей, изменяющихся от 0,1 до 14  $\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ . В электрических полях, изменение которых соответствует одноступенчатому прохождению возрастающих частных, а затем и полных петель диэлектрического гистерезиса (метод коммутаций) время перестройки сегнетоэластической доменной структуры в 30...40 раз меньше времени переключения полной поляризации кристалла. Это свидетельствует о том, что основное время переключения определяется изменением его сегнетоэлектрической  $180^\circ$  доменной структуры.

При изменении электрического состояния образцов  $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$  методом коммутации электрического поля существуют пороговые скорости изменения их электрического состояния, начиная с которых скачкообразные процессы переполяризации играют все меньшую роль.

#### **Список литературы**

1. Рудяк В.М. Процессы переключения в нелинейных кристаллах. М. Наука. 1986. 243 с.
2. Большакова Н.Н., Большакова О.В., Иванов В.В., Иванова Т.И., Черешнева Н.Н. Процессы перестройки доменной структуры ниобийсодержащих кристаллов титаната бария // ФТТ. 2006. Т.48. В.6. С.1064-1066.
3. Шувалов Л.А. Сегнетоэластики // Изв. АН СССР. Сер. физ., 1979. Т.43. №8. С.1554-1560.
4. Rudyak V.M., Ivanova T.I., Domain structure realignment and Barkhausen effect in  $\text{NaNb}_3(\text{SeO}_3)_2$  single crystals // Ferroelectrics. 1980. V.26. P.805-808.

#### **PROCESSES OF FERROELECTRIC AND FERROELASTIC DOMAIN STRUCTURE SWITCHING IN BARIUM TITANATE CRYSTALS CONTAINING NIOBIUM**

**N.N. Bolshakova, O.V. Bolshakova, T.I. Ivanova**

The results of a study of the polarization reversal processes in barium titanate crystals containing niobium in electric fields changed by the method of commutation are presented. It is shown that the main time of  $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$  crystal switching is determined by the change of its ferroelectric  $180^\circ$  domain structure.