

Процессы перестройки доменной структуры ниобийсодержащих кристаллов титаната бария

© Н.Н. Большакова, О.В. Большакова, В.В. Иванов, Т.И. Иванова, Н.Н. Черешнева

Тверской государственный университет,
170002 Тверь, Россия

E-mail: d000178@tversu.ru

Приведены результаты исследования процессов перестройки доменной структуры ниобийсодержащих кристаллов титаната бария в изменяющихся электрических полях, соответствующих ступенчатому прохождению кривой поляризации.

Работа выполнена при поддержке программы Минобразования РНП 2.1.1.3674.

PACS: 77.80.Dj, 77.80.Fm, 77.84.Dy

Свойства сегнетоэлектрических материалов в значительной степени зависят от разного рода дефектов, к которым следует отнести и примеси, внедренные при росте кристаллов. Целью настоящей работы являлось исследование процессов перестройки доменной структуры (ДС) кристаллов BaTiO_3 с примесью ниобия.

Объектами исследования выбраны пластины толщиной от 0.1 до 0.3 мм, выращенные методом Ремеики в расплаве KF [1]. Концентрации примеси Nb^{5+} составляли 0.1, 0.3, 0.9 mol.% в расплаве.

Исследования проведены методом электрического эффекта Баркгаузена и поляризационно-оптическим методом [2]. Наблюдение доменной структуры осуществлялось в направлении [001] в проходящем поляризованном свете при комнатной температуре. Электрическое поле прикладывалось в направлении [001]. Его изменение соответствовало ступенчатому прохождению кривой поляризации.

Исходная доменная структура ниобийсодержащих кристаллов преимущественно состоит из мелких a -доменов (рис. 1). В отличие от беспримесного кристалла BaTiO_3 , разбитого на крупные a - и c -доменные блоки, в пластинке $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$ доля c -доменов незначительна.

Приложение электрического поля $E \sim 0.1 \text{ kV/cm}$ вызывает перестройку доменной структуры кристаллов. С увеличением напряженности поля до $E \approx 15 \text{ kV/cm}$ происходит c -доменизация образца. При этом в увеличении c -доменной области, по-видимому, принимают участие домены с вектором \mathbf{P}_s сонаправленным приложенному электрическому полю.

По фотографиям доменной структуры производился расчет отношения объемов c - и a -доменной областей. Соответствующие результаты представлены на рис. 2.

Из рис. 2, a видно, что в интервале полей 15–22 kV/cm происходит уменьшение c -доменной области кристалла BaTiO_3 , что свидетельствует о включении в процесс переполаризации c -доменных областей, вектор \mathbf{P}_s которых противоположен внешнему электрическому полю. Дальнейшее увеличение поля вновь вызывает рост c -доменной области за счет перестройки a -доменной структуры. Полученные результаты и сделанные предположения согласуются с данными [3], где

показано, что переключение c -доменов в направлении поля происходит через a -доменизацию образца.

При исследовании процессов переключения кристаллов $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$ в возрастающих электрических полях фиксировалось время перестройки визуально наблюдаемой, т.е. сегнетоэлектрической доменной структуры, которая одновременно является и сегнетоэластической. Установлено, что с увеличением напряженности приложенного поля время перестройки ДС возрастает, а в полях $E \sim 15 \text{ kV/cm}$ кривые $t(E)$ выходят на насыщение. Следует отметить, что полевые зависимости времени перестройки ДС аналогичны зависимостям переключаемых объемов.

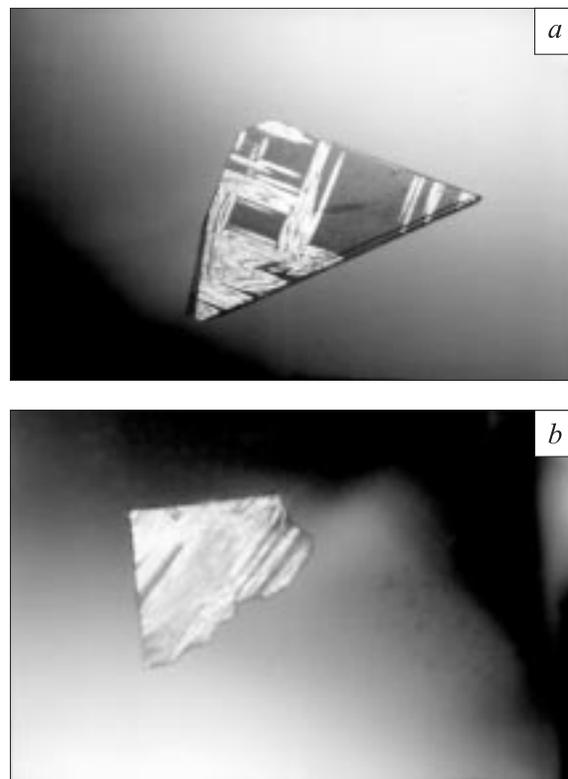


Рис. 1. Исходная доменная структура кристалла $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$: a — $c = 0$, b — 0.3 mol.%.

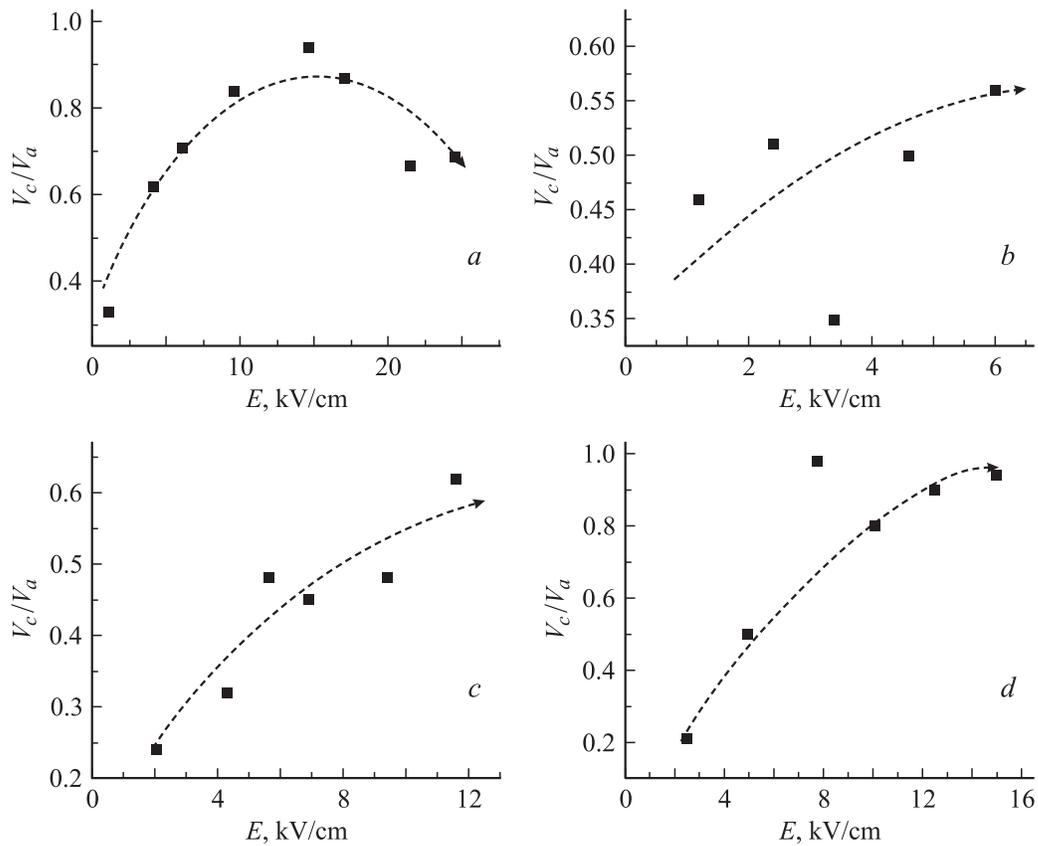


Рис. 2. Зависимости величин переключаемых объемов кристаллов $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$ от напряженности приложенного электрического поля: $a - c = 0$, $b - 0.1$, $c - 0.3$, $d - 0.9$ mol.%.

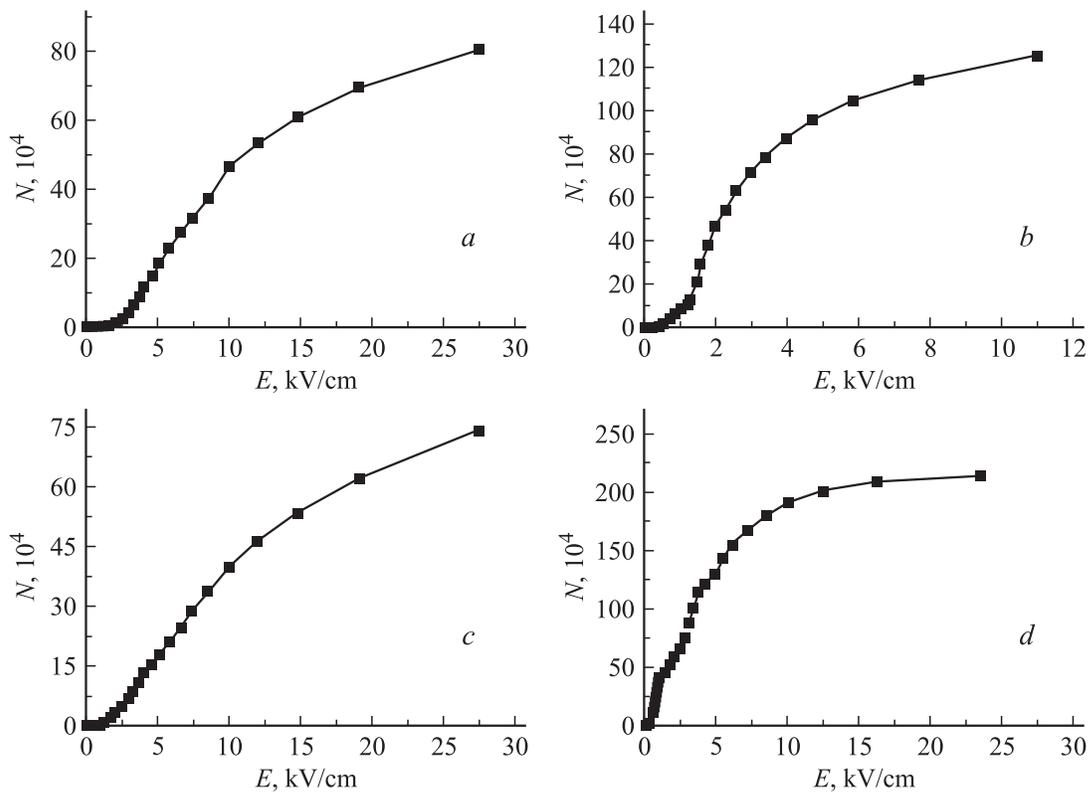


Рис. 3. Интегральные кривые распределения числа скачков Баркгаузена по полю для кристаллов $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$: $a - c = 0$, $b - 0.1$, $c - 0.3$, $d - 0.9$ mol.%.

Известно, что поляризационно-оптическим методом фиксируется перестройка только сегнетоэластической доменной структуры кристаллов. Поэтому процессы полного переключения кристаллов $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$ изучены методом эффекта Баркгаузена. Соответствующие результаты представлены на рис. 3.

Видно, что с увеличением приложенного к образцу поля от 0 до 10 кВ/см число скачков переключения возрастает, что свидетельствует о переключении доменов в направлении поля. С дальнейшим увеличением поля эти процессы становятся менее интенсивными. Для кристаллов $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$ ($c = 0, 0.3, 0.9 \text{ mol.}\%$) процесс поляризации образца в направлении поля практически завершается в полях $E \approx 25 \text{ kV/cm}$. В кристаллах $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$ ($c = 0.1 \text{ mol.}\%$) эти процессы заканчиваются в существенно меньших полях $E \approx 12 \text{ kV/cm}$. Это можно объяснить различной величиной коэрцитивных полей для этих кристаллов, составляющих 6.3; 1.1; 5.8; 2.1 кВ/см для концентраций Nb^{5+} 0, 0.1, 0.3, 0.9 mol.% соответственно.

Согласно данным [4], при введении в расплав примеси ниобия ионы Nb^{5+} замещают ионы Ti^{4+} , что сильно влияет на физические свойства кристаллов $\text{BaTiO}_3:\text{Nb}^{5+}$, в которых образуется сетчатая a -доменная структура, стабилизированная внутренними механическими напряжениями. При их переполяризации наблюдается двойная петля диэлектрического гистерезиса, 90° переориентация \mathbf{P}_s происходит в полях, превышающих $E_{\text{cr}} = 3-5 \text{ kV/cm}$.

Наблюдение петель диэлектрического гистерезиса для исследованных в данной работе кристаллов показало, что они имеют типичный для титаната бария вид; перетяжек петель не обнаружено. Кристаллы переполяризуются в полях, меньших E_{cr} . Доменная структура ниобий-содержащих кристаллов BaTiO_3 преимущественно состоит из a -доменов. Присутствие в образцах c -доменов, по-видимому, связано с небольшими концентрациями примеси Nb^{5+} от 0.1 до 0.9 mol.%, что согласуется с данными [5].

Список литературы

- [1] Э.В. Бурсиан. Нелинейный кристалл титанат бария. Наука, М. (1974). 296 с.
- [2] В.М. Рудяк. Процессы переключения в нелинейных кристаллах. Наука, М. (1986). 248 с.
- [3] Е.В. Синяков. Титанат бария. Наука, М. (1973). 264 с.
- [4] А.Ю. Кудзин. Автореф. док. дис. Воронеж (1978). 30 с.
- [5] Н.Н. Черешнева. Изв. РАН. Сер. физ. **67**, 8, 1142 (2003).