

## **ФИЗИКА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ**

УДК 537.22.64

### **ПРОЦЕССЫ ИМПУЛЬСНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА БАРИЯ СТРОНЦИЯ С ФОТОРЕФРАКТИВНЫМИ ПРИМЕСЯМИ**

**Н.Н. Большакова, Е.Б. Курикова, Т.О. Зазнобин,  
В.В. Иванов, Б.Б. Педько**

Кафедра физики сегнетоэлектриков и пьезоэлектриков

Приведены результаты исследования термоиндуцированных процессов переключения в кристаллах SBN с примесями Се и Сг в интервале температур от нуля до 100 °С, включающем температуру Кюри  $T_c$ .

**Введение.** Ниобат бария стронция (SBN):  $Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$  (конгруэнтного состава  $x = 0,61$ ) - фоторефрактивный материал с высокой фоторефрактивной чувствительностью и большими электрооптическими коэффициентами используется в нелинейной оптике в качестве основы оптической памяти. Примеси Сг и Се значительно улучшают свойства кристаллов: Се повышает фоторефрактивную чувствительность [1], а Сг увеличивает скорость отклика фоторефракции [2]. Также установлено, что введение примесей Сг и Се снижает точку Кюри ( $T_c$ ) кристаллов SBN. В то же время влияние этих примесей на сегнетоэлектрические свойства кристаллов изучено недостаточно. Исследование процессов импульсного переключения (теплового эффекта Баркгаузена) [3] в примесных кристаллах SBN, особенно с двойными примесями (Се+Сг), представляется нам актуальным, т.к. изменение переключательных способностей при введении примесей может оказывать существенное влияние на эксплуатационные характеристики.

Целью настоящей работы являлось изучение термоиндуцированных процессов переключения кристаллов SBN с примесями Се и Сг в интервале температур (0-100) °С, включающем ( $T_c$ ). В работе использованы кристаллы с примесями Сг и Се, а также (Сг+Се), выращенные в университете г. Оснабрюка (Германия). Указанные концентрации примесей соответствуют содержанию последних в шихте, используемой при росте кристаллов.

**Методика эксперимента.** В работе исследованы процессы переполаризации кристаллов ниобата бария стронция методом теплового эффекта Баркгаузена (ТЭБ). Интенсивность перестройки доменной структуры оценивалась по скорости следования скачков переполаризации. Температура образцов изменялась с постоянной скоростью  $\sim 0,7$  К/с и контролировалась медьконстантановой термопарой с погрешностью, не превышающей 0,1 К.

**Результаты эксперимента.** Установлено, что при первичном нагревании как чистых, так и примесных образцов SBN, не подвергавшихся ранее внешним воздействиям, в отсутствие внешних электрических полей

скачки переполаризации практически не возникают. Для активизации ТЭБ к кристаллам прикладывались электрические поля от 100 до 300 В/см.

Нагревание «беспримесных» образцов ниобата бария стронция в присутствии внешнего электрического поля сопровождается перестройкой доменной структуры. При этом кривая зависимости скорости следования скачков переключения от температуры  $\dot{N}(T)$  имеет один максимум, который соответствует району фазового перехода (рис. 1, а). Стоит отметить, что скачки переполаризации следуют и при температурах, превышающих точку Кюри ( $T_c \sim 80^\circ\text{C}$ ), определенную по максимуму температурной зависимости диэлектрической проницаемости.

Нагревание образцов с малой концентрацией (500 ppm) примеси Се и (Се+Ст) при приложении внешнего электрического поля 100 В/см вызывает появление скачков переполаризации при  $T \sim 80^\circ\text{C}$  (рис. 1, б и 1, г). Обращают на себя внимания два максимума на кривой зависимости скорости следования скачков переключения от температуры  $\dot{N}(T)$ , причем первый максимум лежит существенно ниже  $T_c$  (30-40) $^\circ\text{C}$ , а второй – соответствует температуре фазового перехода (70-90) $^\circ\text{C}$ . При этом зависимость диэлектрической проницаемости от температуры имеет единственный четко выраженный максимум, положение которого соответствует температурному интервалу второго экстремума на кривой  $\dot{N}(T)$ .

Нагревание образцов SBN с примесью Ст (500 ppm) при той же величине приложенного поля сопровождается появлением скачков переполаризации при  $T \sim 20^\circ\text{C}$  (рис. 1, в). Температурный интервал интенсивного следования скачков переключения увеличивается по сравнению с вышеприведенными результатами и составляет (20-80) $^\circ\text{C}$ . Скорость следования скачков Баркгаузена существенно не отличается от приведенной для образцов с примесью Се, при этом кривая  $\dot{N}(T)$  имеет лишь один максимум.

Увеличение напряженности приложенного к образцам поля до 300 В/см в SBN с примесью Се приводит к смещению температурного интервала следования скачков переключения в область более низких температур, а в случае (Се+Ст)-содержащих образцов - к интенсификации процессов перестройки доменной структуры и расширению температурного диапазона следования скачков переполаризации. При этом положение максимумов  $\dot{N}(T)$  не изменяется.

Исследование переключения образцов SBN с большой концентрацией ( $10^4$  ppm) примеси Се показывает, что кривая  $\dot{N}(T)$  имеет один максимум. Доменная структура в этом случае интенсивно перестраивается в широком интервале температур, а скачки переполаризации следуют и при  $T > T_c$ .

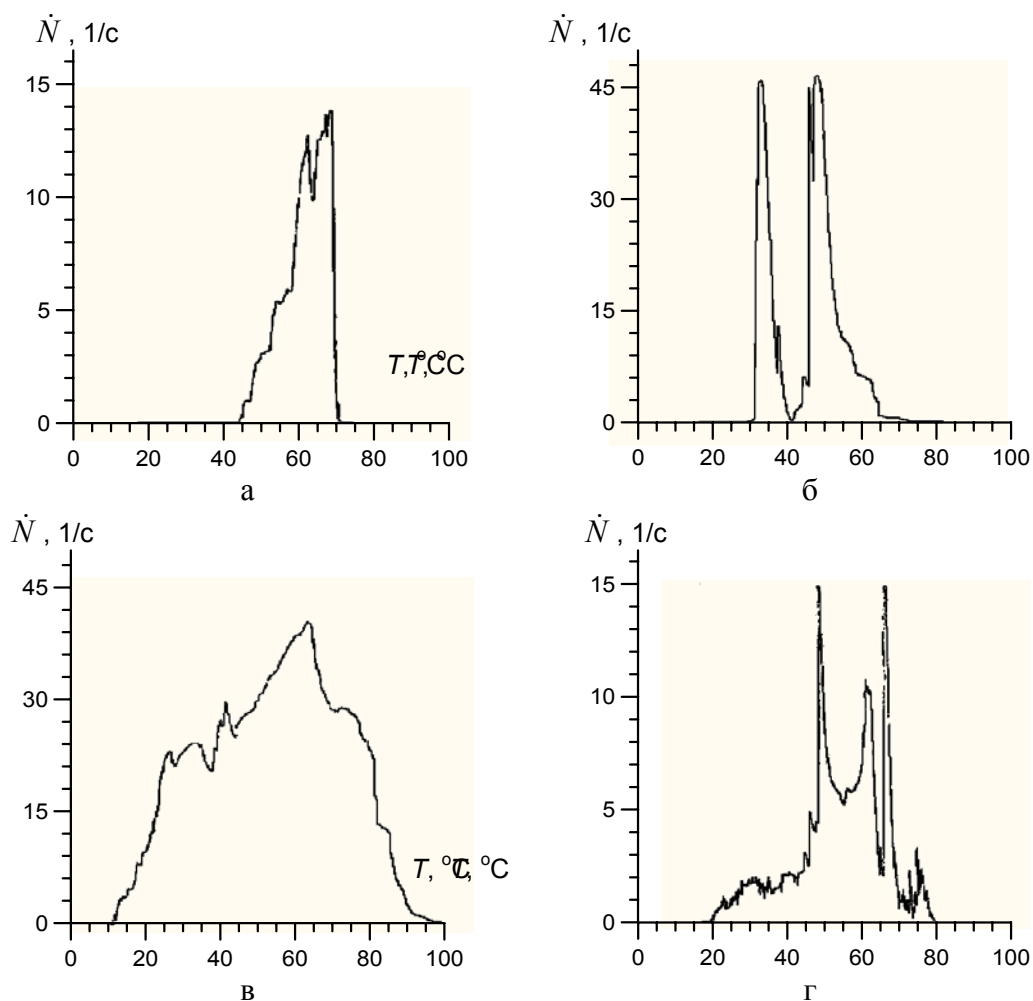


Рис. 1. Температурные зависимости скорости следования скачков реполяризации, полученные для образцов SBN в поле 100 В/см.  
 а - беспримесный; б - 500 ppm Ce; в - 500 ppm Cr; г - 500 ppm Ce+ 500 ppm Cr

Исследуемые образцы подвергались процессу поляризации в постоянном поле  $E \sim 4,5$  кВ/см. Сравнение результатов для поляризованных и неполяризованных кристаллов показывает, что в поляризованном образце скорость следования скачков реполяризации возрастает на порядок по сравнению с ее значением для неполяризованного образца.

**Обсуждение.** Известно, что доменный механизм является определяющим в процессах переключения сегнетоматериалов. Под воздействием внешних электрических полей в сегнетоэлектриках зарождаются домены, вектор поляризованности которых направлен вдоль поля, и далее процесс реполяризации осуществляется путем бокового роста и схлопывания образовавшихся доменов. Внутренние деполяризующие поля [4; 5] также могут вызвать процесс его переключения, что и наблюдалось в экспериментах методом теплового эффекта Баркгаузена. На основании проведенного анализа

можно сказать, что при градиентном изменении температуры механически свободных кристаллов SBN в отсутствие внешних электрических полей определяющую роль в процессах перестройки их доменной структуры играют внутренние деполаризующие поля.

Фазовый переход в чистом SBN наблюдается при температуре  $T \sim 80$  °С. Видно (рис. 1), что в кристаллах SBN процессы перестройки доменной структуры происходят в широком интервале температур, превышающем 80 °С. Это свидетельствует о размытии фазового перехода и сохранении сегнетофазы при  $T > 80$  °С.

Закономерности протекания теплового эффекта Баркгаузена могут свидетельствовать, по мнению авторов, о том, что примеси Се и Сг при вхождении в кристалл инициируют различные механизмы возникновения термоиндуцированного переключения. Это заключается в разном количестве максимумов на зависимости скорости следования импульсов Баркгаузена от температуры и различии величины экстремумов и соответствующих им температурных интервалов.

Данные нейтронно-активационного анализа показывают, что ионы  $\text{Ce}^{3+}$  замещают местоположение Sr/Ba, а ионы  $\text{Cr}^{3+}$  – местоположение Nb в решетке SBN [6; 7]. Следовательно, различие механизмов протекания ТЭБ в кристаллах с примесями Сг и Се может быть связано с различием занимаемого ими положения в структуре кристалла SBN, т.е. с изменением условий зародышеобразования и движения доменных стенок.

Работа выполнена при частичной поддержке программы «Университеты России», проект № УР 01.01.053 и РФФИ (грант 01-02-16511).

Авторы благодарят профессоров S. Karphan и R. Pankrath (университет г. Оснабрюка, ФРГ) за предоставленные для исследования кристаллы.

#### Литература

1. Рудяк В.М. Процессы переключения в нелинейных кристаллах. М., 1986.
2. Neurgaonkar R., Cory W., Oliver J., Ewbank M., Hall W. // Opt.Eng. 1987. V. 62. P. 392.
3. Woike Th., Weckwerth G., Pankrath R. // Sol. St. Comm. 1997. V. 102. P. 743.
4. Большакова Н.Н., Рудяк В.М., Черешнева Н.Н. // Кристаллография. 1997. Т. 42, № 6. С. 1096-1100.
5. Салобутин В.Ю. Сегнетоэлектрические свойства монокристаллов ниобата бария-стронция с примесями редкоземельных металлов: Дис. ...канд. физ.-мат. наук. Тверь, ТвГУ. 2000.
6. Исаков Д.В. Процессы переключения кристаллов ниобата бария-стронция, чистых и легированных, в импульсных полях / Автореф. Дис. ...канд. физ.-мат. наук. Москва, ИК РАН. 2003.
7. Woike Th., Weckwerth G., Palme Y., Pankrath R. // Sol. State Comm. 1997. V. 102. P. 743-747.
8. Woike Th., Dofler U., Tsankov L., Weckwerth G., Wolf D., Wohlecke M., Granzow T., Pankrath R., Imlau M., Kleemann W. // Appl. Phys.B-Lasers and Optics. 2001. V. 72. P. 661-666.