

ТЕРМОИНДУЦИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛЬНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ PIN-PMN-PT

© 2016 г. А.С. СМИРНОВ, А.Д. СЕНЬКОВСКИЙ, Н.Н. БОЛЬШАКОВА,
В.В. ИВАНОВ, Е.Н. ГОРДИНСКАЯ*

Тверской государственный университет,
*Тверской государственный медицинский университет
e-mail: Banan.wow@mail.ru

Введение

Анализ литературных данных [1-3] показывает, что свинецсодержащие монокристаллические твердые растворы, лежащие вблизи морфотропной фазовой границы (МФГ), широко используются в твердотельных актюаторах и гидролокации. В этом случае датчики, изготовленные из кристаллов, подвергаются воздействию больших электрических полей, которые не должны разрушать их поляризованное состояние. Настоящая работа поставлена с целью получения информации о термоиндуцированных импульсных процессах и стабильности поляризованного состояния тройных систем свинецсодержащих монокристаллических твердых растворов (PIN-PMN-PT) в широком температурном диапазоне, включающем точку Кюри.

Методика и объекты исследования

Исследования термоиндуцированных импульсных процессов проведены на кристаллах PIN-PMN-PT, выращенных модифицированным методом Бриджмена. Образцы китайского производства изготовлены в виде плоскопараллельных пластин размерами 4×5×1 мм. Полярные грани образцов (перпендикулярно направлению [001]) металлизированы серебром, электроды нанесены методом вакуумного напыления. Кристаллы имели следующий состав: 24%Pb(In_{1/2}Nb_{1/2})O₃–49%Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃–27%PbTiO₃. Исследования проведены в интервале температур (10-200)°С методом теплового эффекта Баркгаузена (ТЭБ) [4]. Температура образцов изменялась непрерывно, со скоростью 0,2 К·с⁻¹ и контролировалась медьконстантановой термопарой с погрешностью, не превышающей 5%.

Полученные результаты и их обсуждение

Установлено, что при первичном и вторичном нагреваниях образца в области ромбоэдрической фазы в интервале температур (20-120) °С наблюдаются единичные импульсы незначительной амплитуды. Во всех случаях импульсы имеют одну полярность как при нагревании, так и при охлаждении образца. Это свидетельствует об устойчивости поляризованного состояния кристалла и формировании в нем внутреннего поля в процессе его поляризации.

Морфотропный фазовый переход ($T_{RT}=128$ °С) существенного влияния на характер следования импульсов не оказывает. Нагревание образцов с переходом через точку Кюри ($T_c=185$ °С) вызывает его деполяризацию. Поляризация образцов при $T=20$ °С вызывает интенсификацию термоиндуцированных процессов перестройки доменной структуры. С увеличением напряженности поляризуемого поля скорость следования скачков переключения, обусловленных нагреванием образцов PIN-PMN-PT, возрастает.

Нагревание образцов в присутствии внешнего постоянного поля 120 В·см⁻¹ вызывает появление большого числа импульсов, полярность которых свидетельствует о

наличии в образцах внутреннего электрического поля, обусловленного поляризацией кристалла. Характер температурных зависимостей, скорости следования импульсов, их полярность и поведение во внешних полях свидетельствуют о том, что наблюдаемые импульсы являются тепловым эффектом Баркгаузена [4]. На рис. 1 приведена температурная зависимость числа скачков переполяризации, вызванных нагреванием образца PIN-PMN-PT в присутствии поля $E=320 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$. Видно, что в интервале температур от 20 до 70 °С кривая $N(T)$ монотонно возрастает. При дальнейшем нагревании образца она выходит на насыщение.

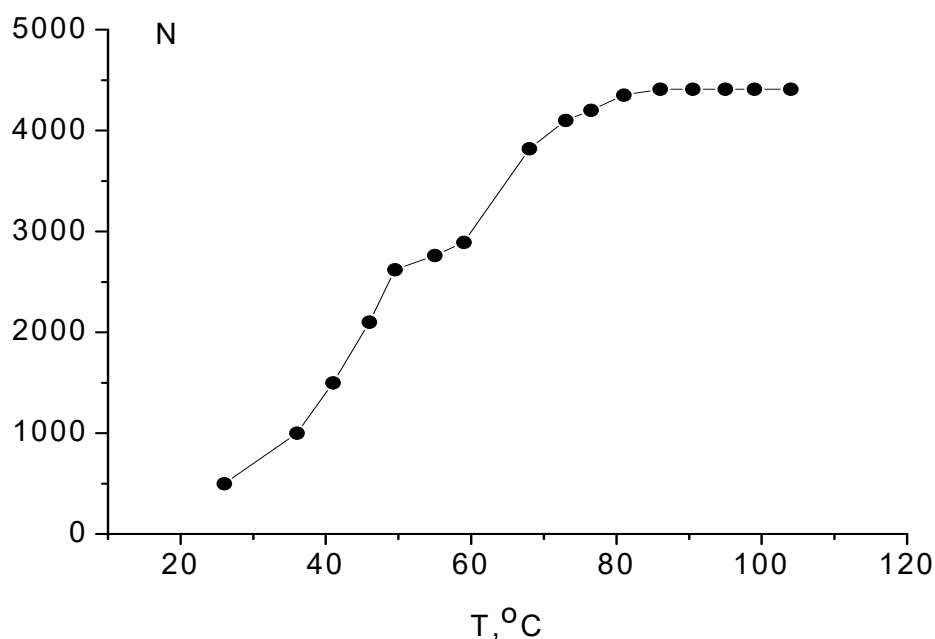


Рис. 1. Интегральная кривая температурной зависимости числа скачков переключения для кристалла PIN-PMN-PT.

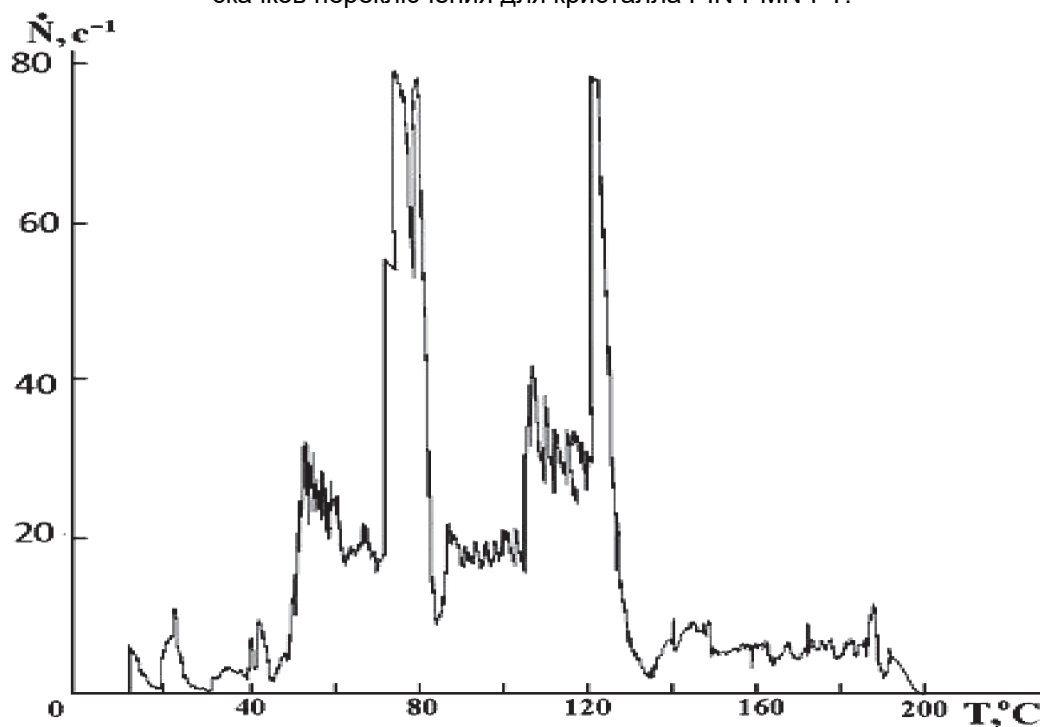


Рис. 2. Температурная зависимость скорости следования скачков переключения, полученная для образца PIN-PMN-PT при его нагревании в присутствии постоянного поля $E=320 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$.

На рис. 2 приведена температурная зависимость скорости следования скачков переполаризации, вызванных нагреванием образца PIN-PMN-PT в присутствии поля $E=320 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$. Видно, что в интервале температур от 20 до 30 °С на зависимости $\dot{N}(T)$ наблюдается выброс. Дальнейшее нагревание образца в интервале температур (50-190)°С сопровождается ТЭБ, свидетельствующим о перестройке доменной структуры.

Напряженность внешнего поля оказывает существенное влияние как на интенсивность термоиндуцированных процессов перестройки доменной структуры образцов, так и на их температурный интервал. В табл. 1 приведены данные о максимальной скорости следования скачков переключения и температурном интервале интенсивной перестройки доменной структуры образцов PIN-PMN-PT при различных полях, приложенных к образцу.

Таблица 1

$E, \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$	$\dot{N}_m, \text{ с}^{-1}$	$\Delta T, \text{ К}$
120	50	10
320	$3\cdot 10^2$	12
540	10^2	15
740	10^3	40
920	10^6	80
1080	$6\cdot 10^6$	45
1320	10^5	85
1500	$3\cdot 10^5$	100
1680	10^6	80
1800	10^6	80

Видно, что с увеличением напряженности внешнего приложенного к образцу поля температурный интервал интенсивного следования скачков переключения возрастает. Аналогичную тенденцию имеет и скорость следования скачков переключения. Это свидетельствует об интенсификации термоиндуцированных процессов перестройки доменной структуры кристаллов PIN-PMN-PT с ростом напряженности внешнего приложенного к образцу поля.

Заключение

Установлено, что поляризованные кристаллы PIN-PMN-PT сохраняют устойчивую униполярность при изменении их температуры в области сегнетоэлектрических фаз. Однократное нагревание образцов выше точки Кюри вызывает их частичную деполаризацию. Приложение к образцам внешнего электрического поля $E > 120 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ вызывает появление импульсов, полярность которых свидетельствует о формировании в процессе поляризации кристалла внутреннего электрического поля. С увеличением напряженности поля, приложенного к образцу, наблюдается увеличение скорости и расширение температурного диапазона следования скачков переключения, что свидетельствует об интенсификации процессов перестройки доменной структуры.

Полученные закономерности можно проанализировать на основании литературных данных о доменной структуре исследованных кристаллов. Обнаружены два типа доменов: в ромбоэдрической фазе сегнетоэлектрические-сегнетоэластические 71° – и 109° – домены, в тетрагональной фазе: 90° и 180° – сегнетоэлектрические. В ромбоэдрической фазе процессы перестройки доменной структуры кристаллов PIN-PMN-PT происходят более интенсивно, чем в тетрагональной. Это можно объяснить

ролью не 180° – доменов в процессах переполяризации кристаллов. Эти домены обладают сегнетоэлектрическими и сегнетоэластическими свойствами. Их перестройка может быть осуществлена как электрическим полем, так и механическими напряжениями. Градиентное изменение температуры образцов может вызвать их неоднородные напряжения, что повлечет за собой изменение конфигурации не 180° – доменной структуры. С увеличением напряженности внешнего приложенного поля активизируются процессы перестройки обоих типов структур.

Авторы выражают благодарность Б.А. Струкову и И.В. Шнайдштейну за полезные советы и предоставленные для исследований образцы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shujin Zhang, Li Fei, SherlockNevin P., Luo Jun, Lee HyeongJae, Xia Ru, Meyer Richard J., Hackenberger Wesley, Shrouth Thomas R.* Recent developments on high Curie temperature PIN-PMN-PT ferroelectric crystals // *Journal of Crystal Growth*, 2010, p. 1-5, www.elsevier.com/locate/jcrysgr.
2. *Камзина Л.С., Luo Н.* Эволюция диэлектрических и оптических свойств в монокристаллах $PbIn_{1/2}Nb_{1/2}O_3-PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O_3-PbTiO_3$ в электрическом поле. // *Физика твердого тела*, 2013, Т. 55, вып. 10. С. 1956-1961.
3. *Камзина Л.С., Кулакова Л.А., Luo Н.* Оптические и акустические свойства монокристаллов $33PbIn_{1/2}Nb_{1/2}O_3-35PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O_3-32PbTiO_3$ в электрическом поле. // *Физика твердого тела*, 2014, Т. 56, вып. 9. С. 1809-1815.
4. *Рудяк В.М.* Процессы переключения в нелинейных кристаллах. – М: Наука, 1986. 244 с.