

УДК 537.266.33

А.В. Сопит, А.И. Бурханов, Т.П. Сопит, А. Штернберг

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО СМЕЩАЮЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОТКЛИК СЕГНЕТОКЕРАМИКИ PSN В ОБЛАСТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Исследованы образцы неупорядоченной сегнетокерамики скандониобата свинца (PSN) подверженные гамма- и гамма-нейтронному облучению. Показано, что кратковременное при-
ложение смещающих электрических полей при комнатной температуре приводит к смещению
температуры максимумов пиротоков в область высоких температур. Установлено, что полевое
воздействие на максимумы пиротоков имеет пороговый характер, при этом величина порого-
вого поля не зависит от концентрации радиационных дефектов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: скандониобат свинца, пирозлектрические свойства; сегнетокерамика, физические свойства.

The lead scandoniobate (PSN) of disordered ferroceramic samples to gamma- and gamma-
neutron irradiation were investigated. It was shown that short application of bias electric fields at
room temperature brings to shifts of the temperature maximum pyrocurrent in area of the high tem-
perature. It was detected that field influence on maximums pyrocurrent have threshold nature. The
value threshold field does not depend on concentrations radiation-induced defect.

K e y w o r d s: lead Scandium Niobate, pyroelectric properties; ferroelectric ceramics, physical
properties.

Многочисленными исследованиями кристаллов и керамик скандониобата свинца установлено, что их физические свойства сильно зависят от степени композиционного или кристаллохимического упорядочения (S) ионов Sc^{3+} и Nb^{5+} в однотипных кристаллографических положениях [1], которые могут быть разными в зависимости от термообработки образцов. Например, неупорядоченные образцы ($S < 0,2$ [2]) демонстрируют релаксорные свойства. Однако, в отличие от классического релаксора магнониобата свинца, который не обнаруживает сегнетоэлектрического поведения в отсутствие электрического поля, соединения PSN даже в отсутствие поля испытывают спонтанный фазовый переход в сегнетоэлектрическую фазу [3—5]. В [6] отмечалось: доменная структура кристаллов PSN неоднородна и характеризуется блочной конфигурацией, что объясняется наличием в этих кристаллах механических напряжений и ростовых дефектов, которые нарушают однородность спонтанной поляризации по объему кристалла при фазовом переходе. Поэтому доменная конфигурация, наблюдаемая в реальном кристалле PSN, является результатом компромисса между симметричными соображениями и энергетическими требованиями, с одной стороны, и возмущающим влиянием неоднородных деформаций и ростовых дефектов — с другой. Приложение смещающего электрического поля, как известно, может приводить к перестройке доменной структуры, индуцированию новой фазы [7], электрострикции и пьезодеформации [8, 9]. В основе этих эффектов лежат процессы, связанные с возникновением и изменением макроскопической поляризации. Индуцированная электрическим полем поляризация зависит от температуры, и ее изменение проявляется в виде пиротока [10]. При этом важна не только величина приложенного поля, но и температура, при которой приложено и снято поле, а также предыстория образца.

Целью данной работы является исследование пирозлектрических свойств неупорядоченных образцов скандониобата свинца различной степени дефектности при одних и тех же режимах приложения внешнего электрического поля в температурном интервале, включающем фазовый переход.

Образцы и методика измерения. В качестве объектов исследования использованы образцы горячепрессованной сегнетокерамики скандониобата свинца $\text{PbSc}_{0,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_3$ (PSN) толщиной $d \approx 1$ мм подверженной облучению: гамма (γ_s) дозой $D = 9,23 \cdot 10^8$ Rad; смешанному гамма-нейтронному (γ_n) дозой $D = 5 \cdot 10^9$ Rad. Ранее на этих образцах были проведены исследования диэлектрических свойств в слабых измерительных полях и широком интервале температур [11]. Перед измерениями токов образцы предварительно отжигались при температуре $T_m + 40$ °С, где T_m — температура максимума диэлектрической проницаемости в слабых полях (для частоты 1 кГц $T_m = 100 \dots 103$ °С). Смещающее электрическое поле напряженностью до $E = 5$ кВ/см ($E > E_c$) прикладывалось при комнатной температуре на одну минуту, затем образец на короткое время закорачивался. Измерения тока проводились на короткозамкнутых образцах в динамических режимах нагрев-охлаждение со скоростью ~ 3 °С/мин универсальным вольтметр-электронметром В7-30.

Результаты измерений и обсуждение. Рис. 1 иллюстрирует характерные температурные зависимости плотности тока $J(T)$ в динамическом режиме нагрева для необлученных и облученных образцов PSN после воздействия смещающего электрического поля. На основе сопоставлений с данными диэлектрического отклика $\epsilon'(T)$ [12] можно утверждать, что аномалии зависимости токов $J(T)$ связаны с деполяризацией образцов при фазовом переходе. Как и в случае диэлектрического отклика воздействие гамма облучения на образцы PSN, особенно дозой γ_n (кривая 3), смещает температуру максимума плотности тока $J(T)$ ($T_{\max}$) в область высоких температур ($\Delta T_m \approx 4$ °С [12] и $\Delta T_{\max} \approx 4,4$ °С, соответственно) (рис. 1, а).

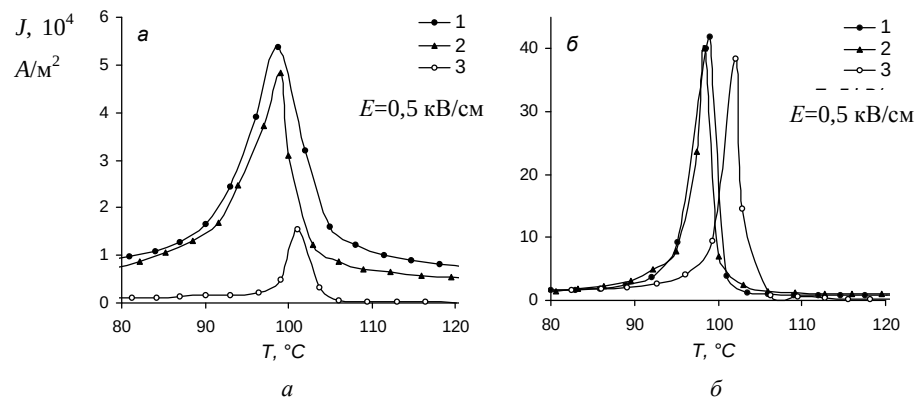


Рис. 1. Температурные зависимости плотности пиротоков $J(T)$ для необлученных (1) и облученных дозами γ_s (2) и γ_n (3) образцов сегнетокерамики PSN

Увеличение концентрации (радиационных) дефектов при облучении приводит к формированию внутренних электромеханических полей, уменьшающих поляризацию материала, что сопровождается уменьшением абсолютных значений тока $J(T)$ во всем интервале температур.

Приложение смещающего поля приводит к постепенному уменьшению разницы между значениями $J(T)$ для необлученных (кривая 1) и облученных (кривые 2 и 3) образцов PSN в области температур ниже $T_{\max}$. При этом уменьшение разницы между значениями $J(T)$ происходит за счет существенного роста плотности тока γ_{ω} -облученных образцов (рис. 1, б). Отметим, что интервал температур между максимумами плотности тока $J(T)$ γ_{ω} -облученных и необлученных образцов уменьшается (до $\Delta T_{\max} \approx 3,1$ °C при $E = 5$ кВ/см). «Сближение» значений плотности токов для облученных и необлученных образцов PSN обусловлено насыщением их макрополяризации по мере увеличения смещающего поля, при этом полярное состояние образцов становится однородным и, по-видимому, близко к мономерному.

Экспериментальные результаты показали, что полевое воздействие на положение максимума пиротока имеет пороговый характер. Так из рис. 2 видно, что в интервале смещающих полей с напряженностью до $E = 1$ кВ/см $T_{\max}$ уменьшается и лишь при $E > 1$ кВ/см наблюдается поведение зависимости $T_{\max}(E)$ (рис. 2), как у обычных сегнетоэлектриков [13, 14]. Уменьшение или даже не зависимость $T_{\max}(E)$ при полях меньше пороговых является характерным признаком релаксоров [10, 15] и обусловлено характером распределением случайных полей. С другой стороны, изменение положения $T_{\max}$ уже при слабых полях говорит о неоднородности доменного (или полярного) состояния неупорядоченного соединения PSN, что отмечалось, например, в [2, 6].

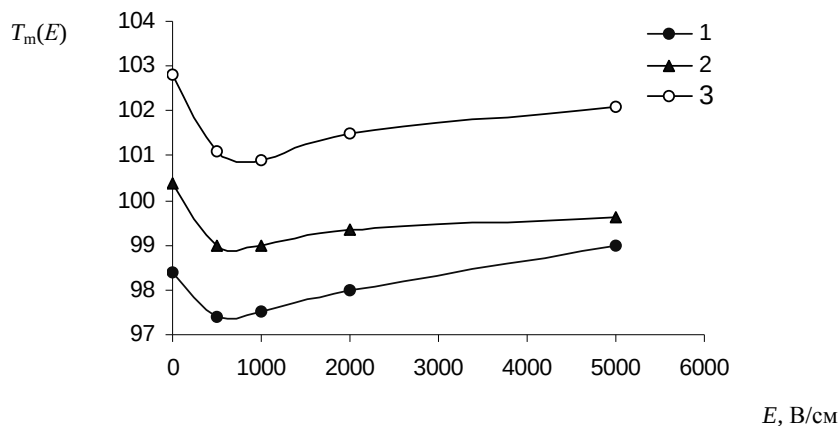


Рис. 2. Зависимость температуры максимума пиротока $T_m(E)$ от величины смещающего электрического поля для необлученных (1) и облученных дозами γ_s (2) и γ_{ω} (3) образцов сегнетокерамики PSN

Таким образом, приведенные экспериментальные результаты свидетельствуют о неоднородности полярного состояния неупорядоченных керамических образцов PSN, обусловленной наличием неоднородных областей, имеющих собственные коэрцитивные поля и времена релаксации.

Выявлено, что кратковременное приложение смещающих электрических полей при комнатной температуре имеет пороговый характер.

Величина порогового поля, определяемая из амплитудной зависимости температуры максимума пиротока от величины смещающего поля $T_{\max}(E)$, не зависит от концентрации радиационных дефектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Stenger C.G., Burggraaf A.J. Order-Disorder Reactions in the Ferroelectric Perovskites $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ and $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Ta}_{1/2})\text{O}_3$ // *Phys. state solidi*, 1980, (a), v. 61, pp. 653—664.
2. Диэлектрические свойства монокристаллов твердых растворов скандоникобата свинца-бария / Раевский И.П., Еремкин В.В., Смотраков В.Г. и др. // *Письма в ЖТФ*, **24**, № 23, 88 (1998).
3. Chu F. Spontaneous (zero-field) relaxor-to-ferroelectric-phase transition in disordered $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ / F. Chu, N. Setter, A.K. Tagantsev // *J. Appl. Phys.* 1993. **74**. 8. P. 5129.
4. Chu F. Dielectric Properties of Complex Perovskite Lead Scandium Tantalate under dc Bias / F. Chu, G.R. Fox, N. Setter // *J. Am. Ceram. Soc.* **81**, 6, 1577 (1998).
5. Chu F. Spontaneous (zero-field) relaxor-to-ferroelectric-phase transition in disordered $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$. / F. Chu, I.M. Reaney N. Setter // *J. Appl. Phys.* 1995. v.77 (4).
6. Воздействие постоянного электрического поля на структурные параметры сегнетоэлектрических кристаллов $\text{PbSc}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$. / Мардасова И.В., Абдулвахидов К.Г., Буракова М.А., Куприянов М.Ф. // *Письма в ЖТФ*, 2002, т. 28, вып. 24, С.8.
7. Фесенко О.Г. Фазовые переходы в сверхсильных полях. Ростов-на-Дону, 1984. 160 с.
8. Нелинейность электрострикционной деформации в сегнетоэлектриках с размытым фазовым переходом / Смоленский Г.А, Исупов В.А., Смирнова Е.П., Юшин Н.К. // *Письма в ЖТФ*. 1987. Т. 13. № 1. С. 44—49.
9. Юшин Н.К., Смирнова Е.П., Исупов В.А. О наведенном пьезоэффекте в электрострикционной сегнетокерамике // *Письма в ЖТФ*. 1987. Т. 13. № 8. С. 471—476.
10. Ye Zuo-Guang and Schmid Hans Optical, dielectric and polarization studies of the electric field-induced phase transition in $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ [PMN] // *Ferroelectrics*. 1993, v.145, pp. 83—108.
11. Сопит А.В. Автореф. дис. ...канд. физ.-мат. наук. Волгоград : ВолгГАСУ, 1998. 20 с.
12. Сопит А.В. Влияние радиационных дефектов на характер диэлектрического отклика сегнетокерамики скандоникобата свинца / А.В. Сопит, А.И. Бурханов, А. Штернберг // *Физика твердого тела*. 2006. Т. 48. С. 1091.
13. Han J. and Cao W. Electric field effects on the phase transitions in [001]-oriented $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$ single crystals with compositions near the morphotropic phase boundary // *Phys. Rev.* 2003. B 68, P.134102.
14. Effect of a bias field on the dielectric properties of $0.69\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - 0.31PbTiO_3 single crystals with different orientations / Zhao X., Wang J., Chan H.I.W., Choy C.I., and Luo H. // *J. Phys.: Condens. Matter* 2003. v.15, P. 6899.
15. Bias field effect on the temperature anomalies of dielectric permittivity in $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ - PbTiO_3 single crystals / Raevskiy I.P., Prosandeev S.A., Emelyanov A.S., et al // *Phys. Rev.* 2005. B 72, P. 184104.

© Сопит А.В., Бурханов А.И., 2008

Поступила в редакцию
в марте 2008 г.