

# Влияние радиационных дефектов на характер диэлектрического отклика сегнетокерамики скандониобата свинца

© А.В. Сопит, А.И. Бурханов\*, А. Штернберг\*\*

Волгоградский государственный педагогический университет,  
400131 Волгоград, Россия

\* Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,  
400074 Волгоград, Россия

\*\* Институт физики твердого тела Латвийского университета,  
LV-1063 Рига, Латвия

E-mail: postmaster@vgasa.ru, sandrej74@mail.ru

Методом низко- и инфранизкочастотной диэлектрической спектроскопии исследовано влияние ионизирующего гамма-облучения на частотно-температурные зависимости диэлектрической проницаемости  $\varepsilon'(T)$  релаксорной (неупорядоченной) сегнетокерамики скандониобата свинца до и после температурного отжига. Показано, что облучение приводит к смещению температур максимумов  $\varepsilon'(T)$  и максимумов глубины дисперсии  $\Delta\varepsilon'(T)$  в сторону высоких температур и подавлению высокотемпературной ( $\sim 300\text{--}400^\circ\text{C}$ ) релаксации поляризации. После отжига при  $T \sim 600^\circ\text{C}$  свойства материала частично восстановились.

PACS: 61.80.Ed, 77.22.Ch, 77.84.Dy, 61.82.-d

Одним из способов модификации свойств кристаллов и керамики является воздействие ионизирующего  $\gamma$ -облучения. Изменение дефектного состояния облучаемого материала может, в частности, выражаться в изменении концентраций вакансий (кислорода, свинца) [1–3]. Это приводит в одних случаях к стабилизации сегнетоэлектрических свойств материала, а в других (особенно при нейтронном облучении [3]) — к их подавлению. Особый интерес представляет изучение процессов радиационного дефектообразования и релаксации поляризации в неупорядоченных системах, таких как релаксоры, поскольку данные объекты весьма чувствительны к различного рода внешним воздействиям и эффекты последнего (в том числе радиационного) в них играют существенную роль в проявлении физических свойств материала.

Целью настоящей работы является изучение устойчивости воздействия  $\gamma$ -облучения на низко- и инфранизкочастотные диэлектрические свойства релаксорной керамики скандониобата свинца (PSN) в различных температурных режимах.

## 1. Образцы и методика эксперимента

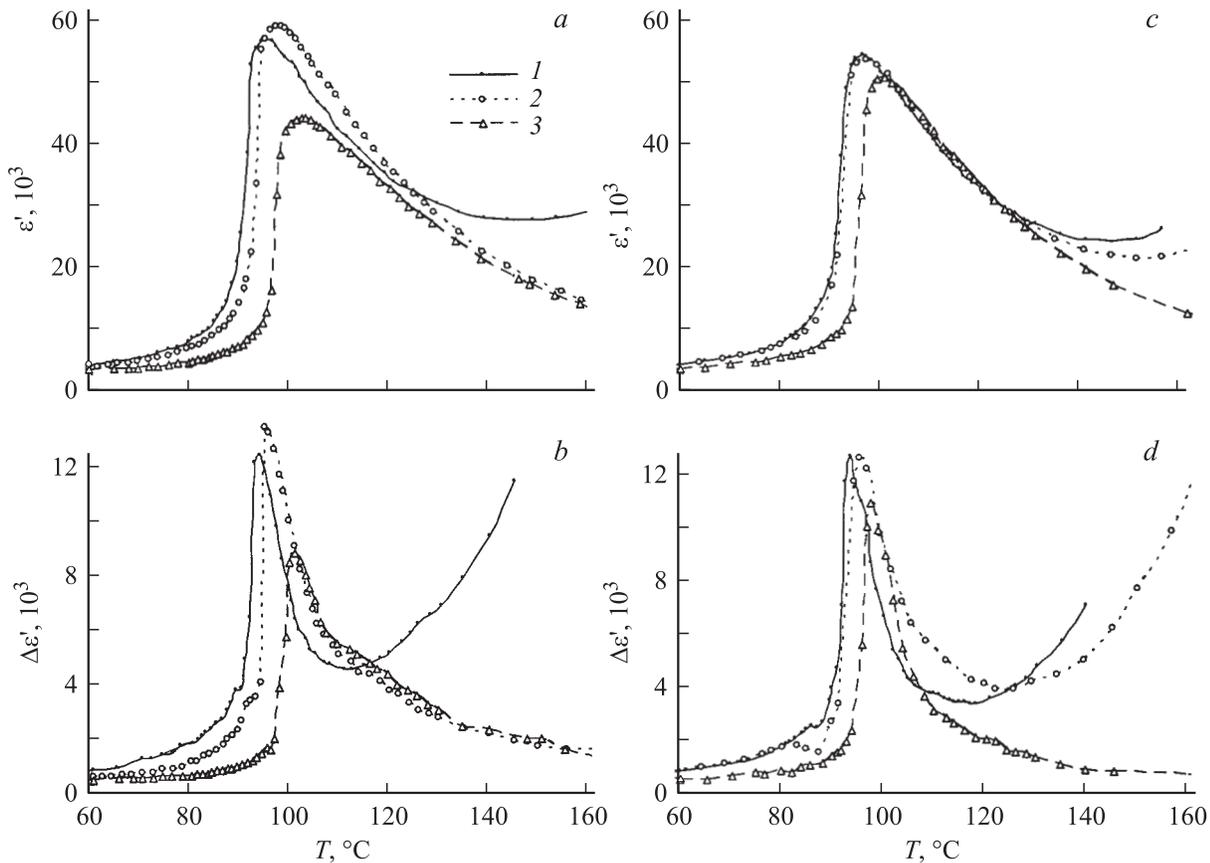
Исследованы образцы горячепрессованной прозрачной сегнетокерамики  $\text{PbSc}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ , подвергнутой гамма-облучению ( $\gamma_s$ ) дозой  $D = 9.23 \cdot 10^8 \text{ rad}$ , а также смешанному гамма-нейтронному облучению ( $\gamma_\omega$ ) дозой  $D = 5 \cdot 10^9 \text{ rad}$ . Температура образцов при  $\gamma$ -облучении не превышала  $50^\circ\text{C}$ . Использовались серебряные электроды, наносимые методом вакуумного напыления и вжигания (при  $T = 600^\circ\text{C}$ ). Измерения действительной ( $\varepsilon'$ ) и мнимой ( $\varepsilon''$ ) частей комплексной диэлектрической проницаемости выполнялись мостовым методом [4] в слабых синусоидальных полях ( $E < 1 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) в диапазоне частот 1–100 Hz при динамическом ре-

жиме нагрева от комнатной температуры до  $400^\circ\text{C}$ . Температура отжига составляла  $600^\circ\text{C}$ , время отжига 20 min.

## 2. Результаты измерений и обсуждение

На рисунке представлены температурные зависимости  $\varepsilon'(T)$  на частоте 1 Hz (*a, c*) и эффективной глубины дисперсии  $\Delta\varepsilon'(T)$  (*b, d*) ( $\Delta\varepsilon' = \varepsilon'_{1\text{Hz}} - \varepsilon'_{1\text{kHz}}$ ) образцов PSN, подвергнутых облучению различными дозами до (*a, b*) и после (*c, d*) температурного отжига. Видно, что  $\gamma_s$ -облучение приводит не только к смещению температур максимумов  $\varepsilon'(T) - T_m$  — и максимумов  $\Delta\varepsilon'(T) - T_{m\Delta\varepsilon}$  — в сторону высоких температур, но и к росту величин максимумов как  $\varepsilon'$ , так и  $\Delta\varepsilon'(T)$  в данном диапазоне частот. Воздействие на образцы более „жесткого“  $\gamma_\omega$ -облучения (части *a, b* рисунка) приводит к дальнейшему сдвигу  $T_m$  и  $T_{m\Delta\varepsilon}$  в сторону высоких температур и существенному уменьшению  $\varepsilon'$  и  $\Delta\varepsilon'$  по сравнению с этими параметрами для необлученного состава. В отличие от  $\varepsilon'(T)$  в температурной области ниже  $T_{m\Delta\varepsilon}$  на зависимости  $\Delta\varepsilon'(T)$  становится заметной дополнительная аномалия в виде небольшой ступеньки (кривые 1 и 2 на рисунке, *b*), температурное положение которой ( $T_p$ ) при  $\gamma_s$ - и  $\gamma_\omega$ -облучении смещается в сторону высоких температур. Дополнительная аномалия  $\Delta\varepsilon'(T)$  и ее температурное поведение могут свидетельствовать о спонтанном фазовом переходе из сегнетоэлектрической фазы в релаксорную при  $T_p$  (по аналогии с монокристаллами PSN [5,6], где подобные аномалии наблюдались в диэлектрических и оптических откликах).

Как видно из рисунка (части *c, d*), диэлектрические свойства  $\gamma_s$ -облученных образцов после отжига в значительной степени восстановились (в частности, по-



Температурные зависимости  $\varepsilon'(T)$  на частоте 1 Hz (*a, c*) и  $\Delta\varepsilon'(T)$  (*b, d*) до (*a, b*) и после (*c, d*) отжига для необлученных (1) и  $\gamma$ -(2),  $\gamma_\omega$ -облученных (3) образцов сегнетокерамики PSN.

ложения  $T_m$ ,  $T_{m\Delta\varepsilon}$  и  $T_p$  практически совпадает с соответствующими температурами необлученных образцов). Кроме того, появилась высокотемпературная релаксация поляризации (ВРП), как и в необлученном составе (кривые 1 и 2 на частях *c, d*), что также может свидетельствовать о восстановлении дефектной структуры материала. Отметим, что появление ВРП (особенно на низких частотах) является характерным признаком релаксации дефектов вакансионного типа, что отмечалось еще в [7]. Из рисунка (части *c, d*) также следует, что дефекты структуры, сформированные при  $\gamma_\omega$ -облучении (кривые 3), более устойчивы к воздействию высоких температур, поскольку (кратковременный) отжиг при  $T = 600^\circ\text{C}$  лишь частично восстанавливает исходные свойства PSN. Вероятнее всего, разрушение наведенных  $\gamma_\omega$ -облучением дефектов произойдет при  $T > 600^\circ\text{C}$  (или при более длительном отжиге). Однако это неизбежно сопряжено с образованием дополнительных вакансий, которые могут существенно влиять на характер диэлектрического отклика в области размытого фазового перехода в PSN (расширить интервал существования релаксорной фазы [8]). Поэтому, чтобы не нарушить исходную стехиометрию образца, более высокие температуры не применялись.

## Список литературы

- [1] А.Н. Рубулис, А.Р. Штернберг, Г.Ж. Гринвалд, А.Э. Капениекс, У.А. Улманис, С.С. Диндун. Фазовые переходы и сопутствующие им явления в сегнетоэлектриках. Сб. научн. статей. Латв. ун-т им. П. Стучки, Рига (1984). С. 107.
- [2] A. Sternberg, A. Spule, L. Shebanovs, E. Birks, P. Kulic, H.W. Weber, F.M. Sauerzopf, H. Klima, U. Ulmanis. Proc. SPIE **2967**, 186 (1996).
- [3] Е.П. Пешиков. Радиационные эффекты в сегнетоэлектриках. Фан, Ташкент (1986). 138 с.
- [4] ASTM-D. Сб. стандартов США. М. (1979). ЦИОНТ ПИК ВИНТИ № 25. С. 188.
- [5] Л.С. Камзина, Н.Н. Крайник. ФТТ **42**, 9, 1664 (2000).
- [6] И.П. Раевский, В.В. Еремкин, В.Г. Смотряков, Е.С. Гагарина, М.А. Малицкая. ФТТ **42**, 1, 154 (2000).
- [7] В.И. Димза, А.Э. Круминь. Фазовые переходы в сегнетоэлектрических твердых растворах. Сб. научн. статей. Рига (1976). С. 67.
- [8] F. Chu, I.M. Reaney, N. Setter. Ferroelectrics **151**, 1-4, 343 (1994).