

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА НЧ И ИНЧ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛА SBN-75*

Исследовано влияние гамма-облучения (Co^{60} доза $D = 4,75 \times 10^4 \text{ R}$) на низко- и инфранизко-частотные диэлектрические свойства монокристалла с размытым фазовым переходом $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN-75). Характер диэлектрического отклика сопоставлялся с поведением токов деполяризации в необлученном и облученном образцах. Наблюдаемые изменения электрофизических свойств в SBN-75 в области размытого фазового перехода, связываются со стабилизацией полярной сегнетоэлектрической фазы материала в поле радиационных дефектов.

The influence of gamma irradiation (Co^{60} the dose $D = 4,75 \times 10^4 \text{ R}$) on low and infralow dielectric properties of a monocrystals with diffuse phase transition $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN-75) was investigated. The character of the dielectric response was compared with behavior of depolarization currents in not irradiated and irradiated samples. The observable changes of electrophysical properties in irradiated SBN-75 are connected with stabilization polar ferroelectric phase in a field of radiation defects.

К числу неупорядоченных сегнетоэлектрических (СЭ) материалов, которым в настоящее время уделяется пристальное внимание, относятся монокристаллы ниобата бария-стронция $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN-х). В системе SBN-х, как показано в целом ряде работ, например [1—3], возможна широкая модификация свойств путем изменения соотношения Sr/Ba или введением различных допирующих примесей. Это привело к тому, что в настоящее время SBN находит широкое применение в оптике, например в качестве голографической среды для оптической памяти или обработки оптической информации в режиме динамической записи, или для преобразования частот оптического излучения на доменной структуре в режиме фазового квазисинхронизма. В этой связи особый интерес представляет изучение различных внешних воздействий на физические свойства системы SBN-х.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния γ -облучения на диэлектрический отклик монокристалла-релаксора SBN-75 в широком интервале измерительных полей и в диапазоне низких и инфранизких частот (НЧ — ИНЧ).

Образцы представляли собой плоскопараллельные пластины размером $4,0 \times 3,0 \times 1,3 \text{ мм}^3$, вырезанные из монокристалла $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$, выращенного методом Чохральского. В качестве электродов, наносимых на большие грани образца перпендикулярно полярной оси c , использовались: электропроводящий лак марки Electon 40 AC (для случая облучения образца без электродов) и электроды, полученные методом вжигания серебряной пасты (случай облучения образцов с электродами). Измерения диэлектрической проницаемости $\epsilon'(T)$ на частотах $1 \dots 1000 \text{ Гц}$ в слабых полях, осуществлялись с использованием мостовых схем измерений. Исследование диэлектрического отклика в сильных полях проводилось с использованием модифицированной схемы Сойлера — Тауэра. Для измерения токов деполяризации образца использовался электрометр В7-30. Скорость нагрева образца соответствовала $1,5 \text{ К/мин}$. Облучение образцов проводилось в потоке гама-излучения Co-60 с различными дозами. После облучения образцы предварительно (перед измерениями) выдерживались при комнатной температуре T_r .

* Работа выполнена при поддержке гранта «Ведущие научные школы» (НШ 1514.2003.2).

На рис. 1 представлены температурные зависимости $\varepsilon'(T)$ (а), глубины дисперсии $\Delta\varepsilon'(T) = \varepsilon'_{1\Gamma\text{ц}} - \varepsilon'_{1\text{кГц}}$ (а врезки), плотности токов деполяризации $j(T)$ (б), а также реверсивные зависимости $\varepsilon'(E_-)$ (в) и петли поляризации (г) при комнатной температуре T_r для необлученного и облученного ($D=4,75 \times 10^4 \text{ R}$) образцов монокристалла SBN-75. Видно, что γ -облучение приводит к «стиранию» аномалии в виде излома $\varepsilon'(T)$ или локального минимума $\Delta\varepsilon'(T)$, которая имеет место в «состаренных» необлученных образцах (рис. 1, а) и характеризует эффект термической памяти в релаксаторах [4, 5]. Как следует из рис. 1, б, в случае облученного образца остается лишь один максимум тока деполяризации $j(T)$ (вблизи температуры максимума $\varepsilon'(T) - T_m$), в отличие от необлученного, где в режиме нагрева выделяются два максимума $j(T)$: один в области температуры старения T_r , а другой в области T_m .

Такое поведение $\varepsilon'(T)$, $\Delta\varepsilon'(T)$ и $j(T)$, вероятнее всего, обусловливается тем, что облучение приводит к стабилизации полярной СЭ фазы в SBN-75. При этом стабилизация осуществляется как в процессе превращения (индуцирования) релаксорной фазы в СЭ фазу в поле радиационных дефектов, так и в процессе пиннинга доменных и фазовых границ на дефектах структуры материала. С данным предположением хорошо согласуется поведение реверсивных зависимостей $\varepsilon'(E_-)$ и петель поляризации, когда вместо «тройного» максимума $\varepsilon'(E_-)$ и двойной петли на необлученном образце (рис. 1, в, г), появляются обычные для материала, находящегося в СЭ фазе формы $\varepsilon'(E_-)$ и петли после облучения.

Рис. 2 иллюстрирует характер изменения формы петель поляризации после, того как образцы (необлученный (рис. 2, а) и облученный (рис. 2, б)) были нагреты до $T > T_m$ ($T=100^\circ\text{C}$), охлаждены до температуры $T_i=42^\circ\text{C}$ (т.е. вблизи T_m) и выдерживались при T_i в течение 5000 мин. Хорошо видно, что на необлученном образце при средних амплитудах измерительного поля появляется перетяжка ПП. Данная перетяжка фиксируется только на частотах ниже 1 Гц и исчезает после несколько циклов ПП при высоких значениях амплитуд E_0 (рис. 2, а — $E_0 \geq 3 \text{ кВ/см}$). Такие эффекты характерны для релаксорных материалов и связаны с появлением метастабильного (замороженного) состояния в релаксорной фазе [6, 7]. В облученном образце при той же предыстории ни в средних, ни в сильных полях перетяжка ПП не наблюдается (рис. 2, б), а имеет место обычная для СЭ материалов узкая петля поляризации при температурах вблизи T_m .

Данное отличие в поведении ПП в γ -облученном образце также может указывать на то, что релаксорная фаза практически исчезает после облучения, а сегнетоэлектрическая фаза остается достаточно стабильной не только при низких температурах (рис. 1), но и при температурах, расположенных вблизи T_m .

При этом следует отметить, что после облучения замедляется спад глубины дисперсии $\Delta\varepsilon'/\Delta\varepsilon'_{\text{max}}$ в слабых полях с течением времени. Так, полученные путем

экстраполяции кривых $\frac{\Delta\varepsilon'}{\Delta\varepsilon'_{\text{max}}} \left[\lg \left(\frac{t}{t_0} \right) \right]$ к значению $\Delta\varepsilon'/\Delta\varepsilon'_{\text{max}} = 0$, времена, соответ-

ствующие полному выключению релаксаторов для облученного образца τ_γ стали выше, чем для необлученного $\tau_{\text{не}}$ (рис. 3).

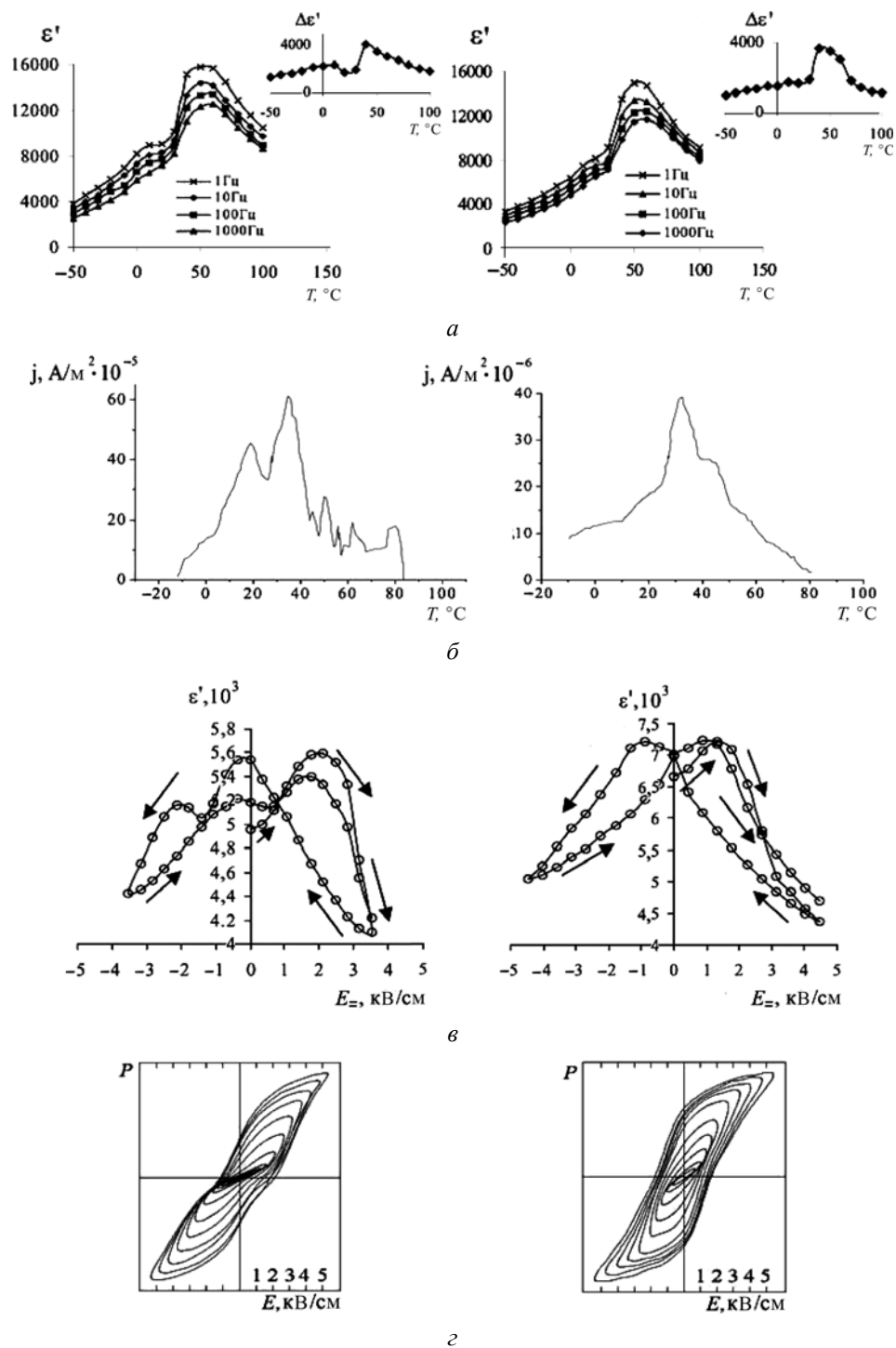


Рис. 1. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости $\epsilon'(T)$ (а), глубины дисперсии $\Delta\epsilon'(T) = \epsilon'_{1\text{Гц}} - \epsilon'_{1\text{кГц}}$ (а, врезки), плотности токов деполяризации $j(T)$ (б), а также реверсивные зависимости $\epsilon'(E_z)$ (в) и петли поляризации (з) при комнатной температуре для необлученного и облученного дозой $4,75 \times 10^4$ R образцов монокристалла SBN-75

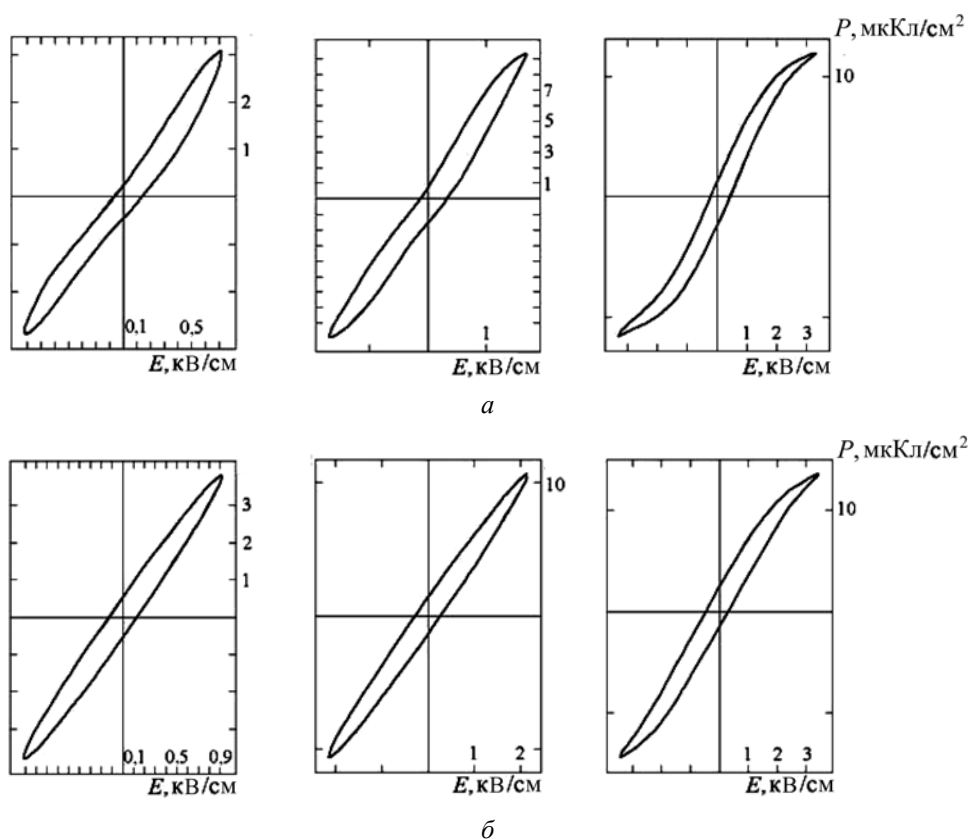


Рис. 2. Петли переполаризации в SBN-75 при различных амплитудах поля E_0 на частоте $\nu = 0,1$ Гц, после выдержки при $T = 42$ °С образцов: *a* — необлученного; *b* — облученного

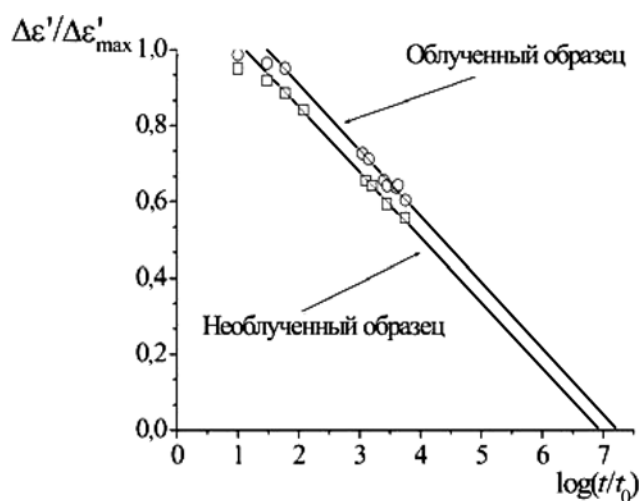


Рис. 3. Временная зависимость нормированной величины дисперсии для облученного и необлученного образцов

Это, по-видимому, обусловлено тем, что относительно «быстрые» релаксаторы (полярные нанообласти, фазовые границы кластеров) исчезли в ходе индуцирования СЭ фазы в поле радиационных дефектов и, таким образом, остались, в основном, «медленные» релаксаторы - доменные границы, которые постепенно пиннингуются на дефектах структуры материала, определяя медленный спад $\Delta\epsilon'(t)$. Это согласуется и с общим уменьшением глубины дисперсии ($\Delta\epsilon'_{\max}$) в образцах после γ -облучения (рис. 1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьминов Ю.С. Сегнетоэлектрические кристаллы для управления лазерным излучением. М. : Наука, 1982. 400 с.
2. Волк Т.Р. Сегнетоэлектрические свойства кристаллов ниобата бария-стронция с примесями некоторых редкоземельных металлов / В.Ю. Салобутин, Л.И. Ивлева и др. // Физика твердого тела. 2000. Т. 42. Вып. 11. С. 2066.
3. Иванов Н.Р. Сегнетоэлектрическая доменная структура в кристаллах SBN (статика и динамика) / Т.Р. Волк, Л.И. Ивлева и др. // Кристаллография. 2002. Т. 47. № 6. С. 1092—1099.
4. Шильников А.В. Эффекты диэлектрической памяти в прозрачной сегнетокерамике ЦТСЛ / А.В. Шильников, А.И. Бурханов, Е.Х. Биркс // Физика твердого тела. 1987. Т. 29. Вып. 3. С. 899—902.
5. Бурханов А.И., Влияние внешних воздействий на релаксационные явления в монокристалле $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ / А.И. Бурханов, А.В. Шильников, Р.Э. Узаков // Кристаллография. 1997. Т. 42. № 6. С. 1069—1075.
6. Исупов В.А. Поляризационно-деформационные состояния сегнетоэлектриков с размытым фазовым переходом // Физика твердого тела. 1996. Т. 38. № 5. С. 1326—1330.
7. Gridnev S.A. Dielectric relaxation in disordered polar dielectric // Ferroelectrics. 2002. V. 266. P. 171—209.

© Бондаренко П.В., Бурханов А.И., Шильников А.В., Ивлева Л.И., 2006