

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДОМЕННОЙ НАНОСТРУКТУРЫ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКАХ-РЕЛАКСОРАХ

*С. Б. Вахрушев<sup>а,б</sup>, А. П. Шаганов<sup>а,б,1</sup>, Б. Дхил<sup>в</sup>, Д. Леболлох<sup>г</sup>, К. Охвада<sup>д</sup>*

<sup>а</sup> Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>б</sup> Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>в</sup> Центральная школа, Париж

<sup>г</sup> Университет Орсе, Орсе, Франция

<sup>д</sup> Агентство по атомной энергии Японии, Токай, Япония

В работе представлены результаты исследования процессов формирования полярных нанодоменов и релаксационной динамики кубического сегнетоэлектрика-релаксора  $(\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3)_{0.9}-(\text{PbTiO}_3)_{0.1}$  (PMNPT10), который был выбран для изучения как модельное соединение.

Results on the investigations of processes of polar nanoregion formation and relaxation dynamics of cubic ferroelectric relaxor  $(\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3)_{0.9}-(\text{PbTiO}_3)_{0.1}$  (PMNPT10) are presented. The studied sample was chosen as model compound.

PACS: 81.05.Mh

Нанонеоднородные материалы являются перспективными практически во всех областях применения [1]. В частности, в настоящее время практически все пьезо- и сегнетокерамики изготавливаются из смешанных перовскитоподобных материалов, в которых наблюдаются два типа мезоскопического ближнего порядка: композиционный, связанный с самоорганизованным химическим упорядочением, и структурный, возникающий при фазовых переходах. Последний проявляется в формировании полярных нанодоменов и нанодоменов. Подобный мезоскопический ближний порядок существует в материалах с колоссальным магнитосопротивлением и в мультиферроиках сложного состава. Несмотря на большое число работ по исследованию процессов формирования первичных полярных и/или магнитных нанодоменов и нанодоменов, микроскопический механизм процессов перестройки структуры в указанных выше системах далеко не полностью изучен и понят. Сложности в определении мезоскопической структуры и долговременной динамики связаны с тем, что рассматриваемые объекты чрезвычайно податливы к внешним воздействиям (что и является причиной их гигантских восприимчивостей). В настоящем докладе представлены результаты исследования процессов формирования и развития полярных нанодоменов и нанодоменов с использованием метода дифракции когерентного рентгеновского (синхротронного) излучения и рентгеновской фотонной корреляционной спектроскопии. Измерения speckle-картин проводились как в непосредственной окрестности брэгговских пиков, так и при отклонении от них (незеркальное отражение).

---

<sup>1</sup>E-mail: shaganovanton@gmail.com

В последнем случае вклад брэгговского рассеяния в наблюдаемую картину был пренебрежимо мал, и мы изучали только диффузное рассеяние. Таким образом, в первом случае мы получали информацию о существовании и пространственном распределении областей с упорядочением ионных смещений на микронном и субмикронном уровнях (нанодоменах), а во втором — распределение областей наномасштаба на микронных и субмикронных расстояниях. Пространственная корреляционная функция определялась путем фурье-обращения наблюдаемых speckl-изображений.

В настоящей работе приведены результаты исследования процесса формирования полярных нанообластей и нанодоменной структуры в кубическом релаксоре  $(\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3)_{0,9}-(\text{PbTiO}_3)_{0,1}$  (PMNPT10), а также его релаксационной динамики. Эксперименты были проведены на источниках синхротронного излучения ESRF (Фран-

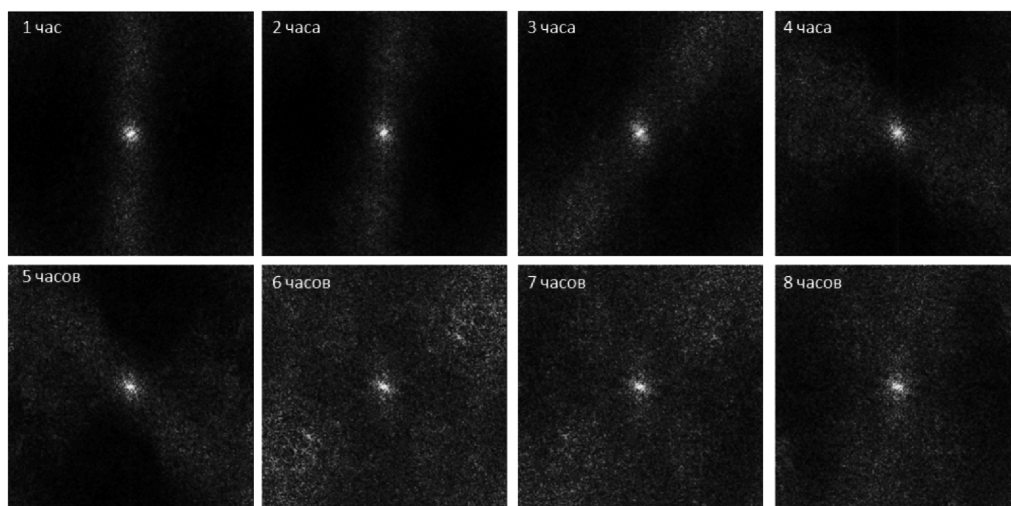


Рис. 1. Временная эволюция пространственной автокорреляционной функции поляризации PMNPT10 при температуре, близкой к температуре фазового перехода ( $T_k \sim 250$  К)  $T = 230$  К. Каждый последующий снимок делался спустя час после предыдущего

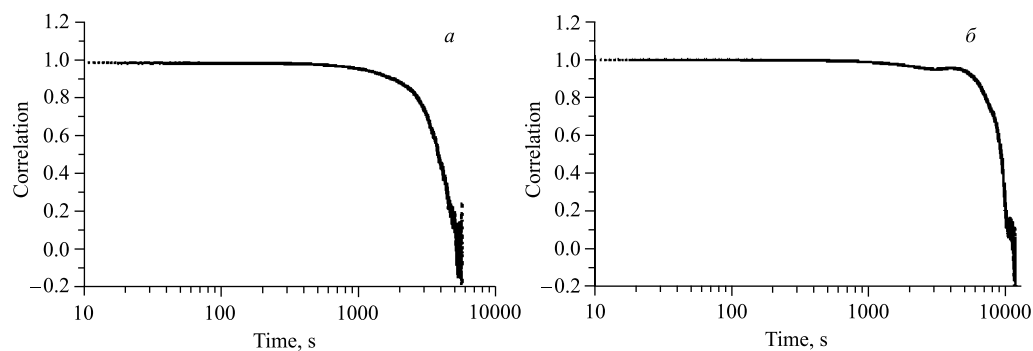


Рис. 2. Временная автокорреляционная функция для образца PMNPT10 при температурах  $T = 360$  К (а) и  $T = 220$  К (б)

ция) и SPRING-8 (Япония). При использовании специально разработанного программного обеспечения были получены пространственные (рис. 1) и временные автокорреляционные функции (рис. 2).

В результате анализа временной эволюции пространственной автокорреляционной функции было установлено, что релаксация образца при низких температурах является длительным процессом (до  $10^3$ – $10^4$  с). Подобное поведение можно наблюдать и при исследовании методом фотонной корреляционной спектроскопии. Однако при изучении образца PMNPT10 методом XPCS времена релаксации порядка  $10^3$  с были получены и для температур значительно выше фазового перехода, несмотря на то, что ожидалось времена релаксации субсекундного масштаба.

Кроме всего прочего, было получено однозначное подтверждение существования полярных нанодоменов выше температуры фазового перехода и упорядоченной нанодоменной структуры ниже этой температуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Robinson H. C., Powers J. M.* Applications of Ferroelectric Single Crystals in Navy Sonar // *Fundamental Physics of Ferroelectric*. 2004. P. 114–115.
2. *Tai R. Z. et al.* Picosecond Snapshot of the Speckles from Ferroelectric BaTiO<sub>3</sub> by Means of X-Ray Lasers // *Phys. Rev. Lett.* 2002. V. 89. P. 257602.
3. *Tai R. Z. et al.* Picosecond View of Microscopic-Scale Polarization Clusters in Paraelectric BaTiO<sub>3</sub> // *Phys. Rev. Lett.* 2004. V. 93. P. 087601.
4. *Zhi Guo et al.* Study of the Microscopic Structures in 0.72Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>–0.28PbTiO<sub>3</sub> Relaxor Ferroelectrics by Means of X-Ray Diffraction // *J. Appl. Phys.* 2007. V. 101. P. 053505.
5. *Shvartsman V. V. et al.* Domain Structure of 0.8Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>–0.2PbTiO<sub>3</sub> Studied by Piezoresponse Force Microscopy // *Phys. Rev.* 2004. V. 69. P. 014102.