

# Релаксационные процессы в несоразмерной фазе кристалла с дефектами

© С.Н. Каллаев, И.К. Камилов

Институт физики Дагестанского научного центра Российской академии наук,  
367003 Махачкала, Россия

(Поступила в Редакцию 30 июня 1998 г.  
В окончательной редакции 4 сентября 1998 г.)

Экспериментально исследован характер релаксации несоразмерной сверхструктуры сегнетоэлектрика к равновесному состоянию. Показано, что в области фазового перехода температурная зависимость времени релаксации несоразмерной фазы дефектного кристалла имеет экспоненциальный характер. Этот закон качественно согласуется с представлениями о движении доменной стенки в неоднородной среде с дефектами типа "случайная локальная температура фазового перехода".

В последние годы большое внимание уделяется исследованиям критической динамики неупорядоченных систем, которые могут находиться в неравновесном состоянии длительное время. Несоразмерная фаза сегнетоэлектрика является ярким представителем такой системы. Особенностью несоразмерной фазы является наличие очень медленной релаксации к равновесному состоянию, которое определяется движением квазидоменных границ (солитонов) в случайной среде посредством преодоления барьеров [1,2]. Согласно [3], время релаксации  $\tau$  изменяется с температурой в области сегнетоэлектрического фазового перехода  $T_c$  кристалла по экспоненциальному закону

$$\tau \approx \gamma^{-1} \exp[(\text{const}/T_c)|T - T_c|^{-p}], \quad (1)$$

где  $\gamma$  — кинетический коэффициент,  $p$  — параметр, определяемый типом дефектов. Так, для трехмерного несоразмерного сегнетоэлектрика, содержащего дефекты типа "случайное локальное поле" (СЛП) этот параметр равен  $3/2$ , а для дефектов типа "случайная локальная температура фазового перехода" (СЛТ) —  $0.78 \leq p \leq 1.0$  [4]. В работе [5] на основании диэлектрических измерений сделана попытка экспериментальной проверки зависимости (1) с параметром  $p = 3/2$ .

В данной работе для определения характера релаксации несоразмерной фазы к равновесному состоянию экспериментально реализована ситуация, близкая к анализируемой теоретически в [2]. Исследование релаксационных явлений в несоразмерной фазе кристалла в области сегнетоэлектрического фазового перехода проводилось по результатам измерений диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , основной вклад в которую вносят колебания квазидоменных стенок.

Объект исследования — кристалл  $\text{Rb}_2\text{ZnCl}_4$ , претерпевающий при температуре  $T_c = 195.2 \text{ К}$  фазовый переход в сегнетоэлектрическую фазу  $D_{2h} \Rightarrow C_{2v}$  ( $Pm\bar{c}n \Rightarrow Pn2_1a$ ) со спонтанной поляризацией вдоль оси  $\mathbf{b}(Y)$ . Промежуточная по температуре фаза между  $T_i = 303 \text{ К}$  и  $T_c$  является несоразмерной с компонентой поляризации  $P_y$ , модулированной вдоль оси  $\mathbf{c}(Z)$ . Образцы кристалла имели форму пластинок площадью

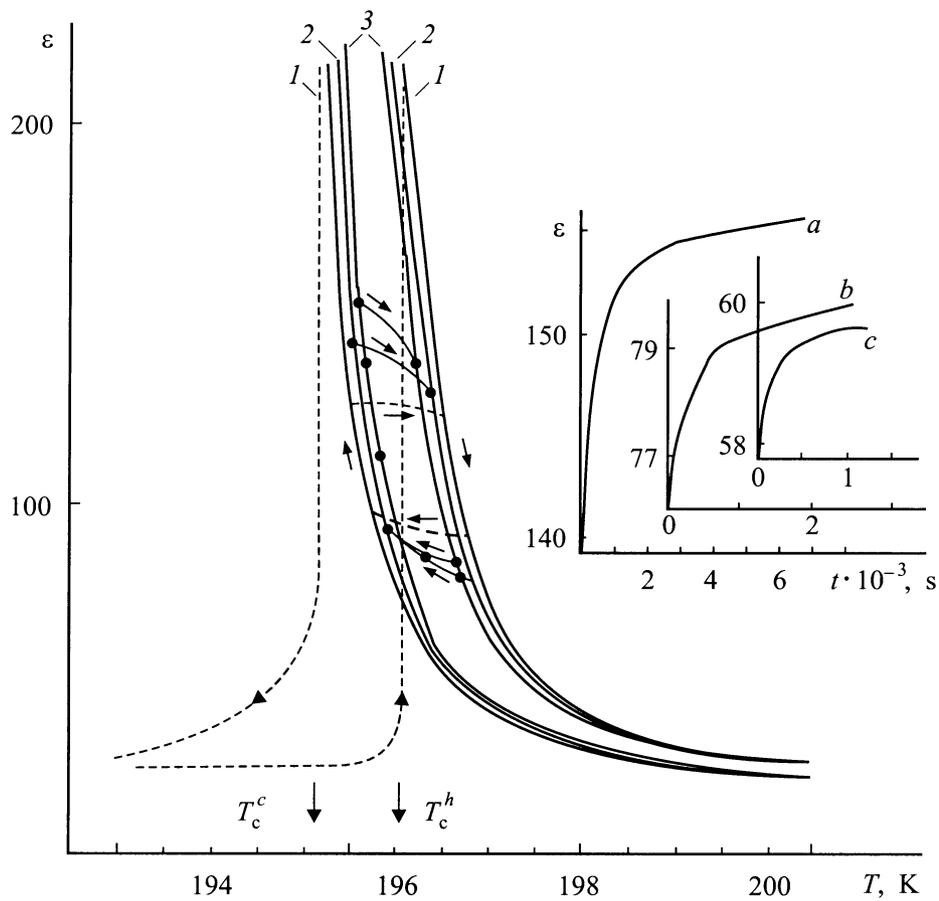
$4 \times 4.5 \text{ mm}$ , ориентированных перпендикулярно оси  $\mathbf{b}(Y)$ . Измерения  $\epsilon$  проводились с помощью емкостного моста на частоте  $1 \text{ mHz}$  и фиксировались самописцем. Точность измерения  $\epsilon$  не менее  $0.01\%$ , стабилизация температуры не хуже  $0.005 \text{ К}$ .

Одним из основных при проведении такого рода экспериментов является вопрос о том, какую температуру считать температурой структурного фазового перехода в полярное состояние в реальном кристалле, который обычно всегда имеет температурный гистерезис. Если учесть, что равновесному состоянию несоразмерной фазы кристалла соответствует такое состояние, при котором физические свойства не зависят от направления изменения температуры, т. е. отсутствует температурный гистерезис, тогда за температуру фазового перехода  $T_c$  можно принять температуру  $T_c = (T_c^e + T_c^h)/2$ , где  $T_c^e$  и  $T_c^h$  — температуры фазовых переходов при охлаждении и нагревании образца кристалла. В этом случае выражение (1) можно переписать в следующем виде:

$$\eta \approx \gamma^{-1} \exp[(\text{const}/T_c)|\Delta T|^{-p}], \quad (2)$$

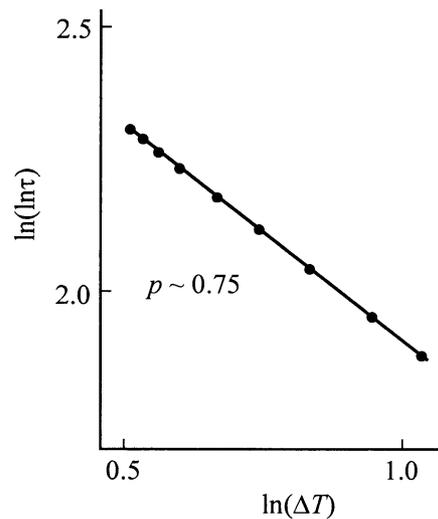
где  $\Delta T = |T - T_c^e| + |T - T_c^h|$  — величина температурного гистерезиса. Таким образом, формула (2) позволяет экспериментально оценить зависимость времени релаксации солитонной решетки от температуры.

Результаты исследования зависимости диэлектрической проницаемости от температуры при охлаждении и нагревании кристалла  $\text{Rb}_2\text{ZnCl}_4$  в квазистатическом режиме для трех различных временных интервалов измерения приведены на рис. 1. Процедура измерений заключалась в следующем. Начальное неравновесное состояние создавалось путем охлаждения до заданной температуры в области  $T_c$  после предварительной выдержки образца кристалла выше  $T_i$  в течение одного часа, и путем нагревания после предварительного охлаждения кристалла ниже  $150 \text{ К}$ . Таким способом в любой температурной точке несоразмерной фазы можно создавать как пониженную, так и повышенную плотность солитонов относительно равновесного состояния. На основании результатов измерений временной зависимости диэлектрической проницаемости при различных  $T = \text{const}$  (вставка



**Рис. 1.** Температурная зависимость диэлектрической проницаемости при охлаждении и нагревании кристалла  $\text{Rb}_2\text{ZnCl}_4$  в квазистатическом режиме для трех следующих временных интервалов измерений:  $t = 600$  (1), 4800 (2) и 21 000 с (3). На вставке — временная зависимость  $\varepsilon$  при трех температурах:  $T - T_c^c = 0.27$  (a), 0.74 (b), 1.20 К (c).

на рис. 1) в процессе охлаждения (или нагрева) образца кристалла  $\text{Rb}_2\text{ZnCl}_4$ , определялась зависимость  $\varepsilon(T)$ . Исследование полного цикла, который включает измерение зависимости  $\varepsilon(T)$  при охлаждении и нагревании, проводилось в следующих восьми временных интервалах: 600, 1200, 2400, 4800, 7200, 12 000, 21 000, 42 000 с. Значение  $T_c = (T_c^c + T_c^h)/2$  оставалось постоянным для всех режимов измерений. Полный цикл измерений для определения температурного гистерезиса в каждом отдельном случае проводился после отжига образца кристалла при комнатной температуре не менее 24 часов. Температуры  $T_c^c$  и  $T_c^h$  соответствуют температурным максимумам значений  $\varepsilon$  на кривых охлаждения и нагревания. Результаты определения закона изменения времени релаксации несоизмерной сверхструктуры (солитонной системы) с температурой приведены на рис. 2, где по данным рис. 1 построены зависимости  $\ln(\ln \tau)$  от  $\ln \Delta T$ . Как видно из рис. 2, изменение  $\tau$  с температурой происходит по экспоненциальному закону (2). Величина показателя степени  $p$ , определяемая по наклону прямой линии к оси абсцисс из рис. 2, равна  $0.75 \pm 0.05$ .



**Рис. 2.** Зависимость двойного логарифма времени релаксации  $\tau$  от  $\ln(\Delta T)$  для кристалла  $\text{Rb}_2\text{ZnCl}_4$ .

Согласно [4], такая величина параметра в пределах ошибки измерений соответствует несоразмерной фазе сегнетоэлектрика, содержащего дефекты типа СЛТ, которые в отличие от дефектов типа СЛП непосредственно взаимодействуют с доменными стенками. Следует отметить, что для дефектов типа СЛТ в несоразмерной фазе кристалла существует дальний трансляционный порядок, если межсолитонное расстояние превышает некоторую критическую величину [3].

Таким образом, результаты эксперимента свидетельствуют о том, что время релаксации солитонной решетки кристалла с дефектами к равновесному состоянию от температуры изменяется по экспоненциальному закону. Показано, что такой закон медленной релаксации характерен для несоразмерной фазы с дефектами типа СЛТ. Этот вывод согласуется с результатами теоретических исследований проведенных на основе представлений о движении доменной границы в случайной среде посредством преодоления барьеров в [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 97-02-16762).

## Список литературы

- [1] T. Nattermann, J. Villain. *Phase Trans.* **11**, 5 (1988).
- [2] E.V. Kolomeisky. *Ferroelectrics* **105**, 131 (1990).
- [3] Е.Б. Коломейский, А.П. Леванюк, А.С. Сигов. *Изв. АН СССР Сер. физ.* **54**, 618 (1990).
- [4] С.В. Малеев. *ЖЭТФ* **70**, 2375 (1976).
- [5] С.А. Гриднев, В.В. Горбатенко, Б.Н. Прасолов. *Кристаллография* **39**, 106 (1994).