

Медленная стадия эволюции несоразмерной сверхструктуры сегнетоэлектрика

© С.Н. Каллаев, В.Ф. Глушков

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

(Поступила в Редакцию 16 марта 1998 г.)

Экспериментально исследован характер медленной эволюции солитонной системы в несоразмерной фазе сегнетоэлектрика. Показано, что продолжительность области, где соблюдается логарифмический закон изменения аномальной диэлектрической проницаемости и соответствующих ей межсолитонных расстояний, увеличивается от нескольких минут до нескольких часов по мере приближения к сегнетоэлектрическому фазовому переходу.

Несоразмерная фаза сегнетоэлектрика с пространственно-модулированной поляризацией является примером неоднородной вырожденной системы, для исследования которой можно эффективно использовать высокочувствительные электрические методы измерений. При температурах, близких к точке перехода в соразмерную полярную фазу, сверхструктура кристалла становится похожей на доменную структуру сегнетоэлектриков с узкими доменными стенками (солитонами), разделяющими соседние области (квазидомены) со взаимно противоположным направлением спонтанной поляризации [1].

Ранее в [2,3] экспериментально установлено, что при небольшом начальном отклонении солитонной системы в Rb_2ZnCl_4 от равновесия диэлектрическая проницаемость в интервале времен от $t_0 = 1$ с до 10 мин изменяется со временем по логарифмическому закону

$$\bar{\epsilon}/\Delta\epsilon \approx F + G \ln(t/t_0), \quad (1)$$

где $\Delta\epsilon = |\bar{\epsilon} - \epsilon|$, причем $\bar{\epsilon}$ — равновесное значение, $t_0 = 1$ с, F и G — константы. Равновесное значение $\bar{\epsilon} = (\epsilon_1 + \epsilon_2)/2$, где ϵ_1 и ϵ_2 — значения диэлектрической проницаемости, соответствующие повышенной и пониженной плотности солитонов при одной и той же температуре. Уравнение (1) согласуется с развиваемым в [4] представлением о релаксации неоднородностей системы как о термоактивационном процессе, определяемом эффектами метастабильности.

В настоящей работе экспериментально определен характер медленной эволюции солитонной системы в несоразмерной фазе сегнетоэлектрика в области времен до нескольких часов при больших отклонениях от состояния равновесия. Объект исследования — Rb_2ZnCl_4 (пр. гр. $Pm\bar{c}n$) со структурными переходами при $T_i = 303$ К и $T_c = 195.2$ К [1]. Промежуточная фаза — несоразмерная с пространственной модуляцией вдоль оси $c(Z)$, низкотемпературная — полярная ($Pn2_1a$) со спонтанной поляризацией вдоль оси $b(Y)$. Образцы кристалла имели форму прямоугольных брусков размером $3 \times 2.7 \times 3.8$ мм с ребрами, ориентированными вдоль кристаллографических осей a, b, c .

Неравновесные начальные состояния солитонной структуры кристалла создавались двумя способами: как

с помощью одноосных механических напряжений (так же как в [3]), так и путем изменения температуры кристалла. При этом напряжения σ_{yy}, σ_{xx} использовались как средство для скачкообразного перевода солитонной структуры в неравновесное состояние. Напряжение σ_{yy} смещает точку перехода в сторону более низких температур, другими словами, увеличивает температурный интервал $\Delta T = T - T_c$ и равновесное значение плотности солитонов \bar{n} , а σ_{xx} действует прямо противоположным образом. Таким образом, не изменяя симметрии кристалла, можно в любой температурной точке несоразмерной фазы создавать как повышенную, так и пониженную относительно равновесного состояния плотность солитонов.

Регистрация временной зависимости диэлектрической проницаемости проводилась на механически свободных образцах. Процедура измерений в первом способе заключалась в следующем: сначала образец охлаждался при $\sigma_{xx} \approx 50$ бар до заданной температуры, а затем напряжение снималось. В результате после снятия нагрузки начальное состояние имело пониженную плотность солитонов по сравнению с равновесной величиной \bar{n} и с величиной n до снятия нагрузки. Во втором способе образец охлаждался из исходной фазы при $\sigma_{xx} = 0$ до заданной температуры, соответствующей той температурной точке (ΔT), в которой оказывался образец после снятия нагрузки в первом случае. Эволюция системы регистрировалась по изменению зависящей от n аномальной диэлектрической проницаемости ϵ вдоль оси b . Изменения ϵ фиксировались с помощью емкостного моста, работающего на частоте 1 МГц. Точность измерения ϵ не менее 0.01%, точность поддержания температуры ~ 0.005 К.

В момент снятия ранее приложенного к образцу механического напряжения σ температура образца из-за пьезокалорического эффекта изменится на величину $\delta T = \frac{kT}{c} \Delta\sigma$, где k — коэффициент теплового расширения, c — теплоемкость, $\Delta\sigma$ — изменение механического напряжения. Оценки для исследуемого образца Rb_2ZnCl_4 при $\sigma \approx 50$ бар дают значение для $\delta T \leq 0.03$. При этом определенное из экспериментальных данных изменение ϵ , отвечающее $\delta T \approx 0.03$, не влияет на

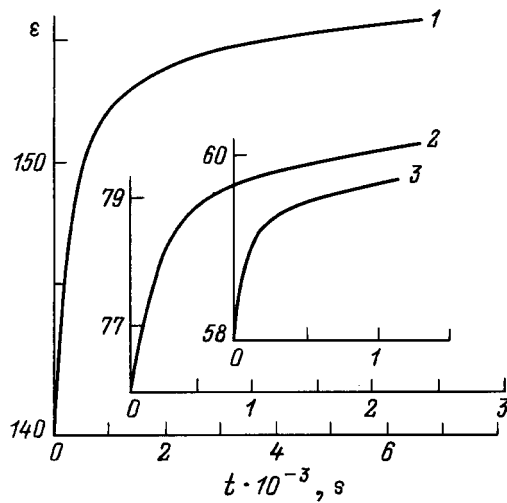


Рис. 1. Изменение диэлектрической проницаемости ε несоизмерной фазы кристалла Rb_2ZnCl_4 со временем t при различных температурах $\Delta T = (T - T_c)$. ΔT (К): 1 — 0.27, 2 — 0.72, 3 — 1.18.

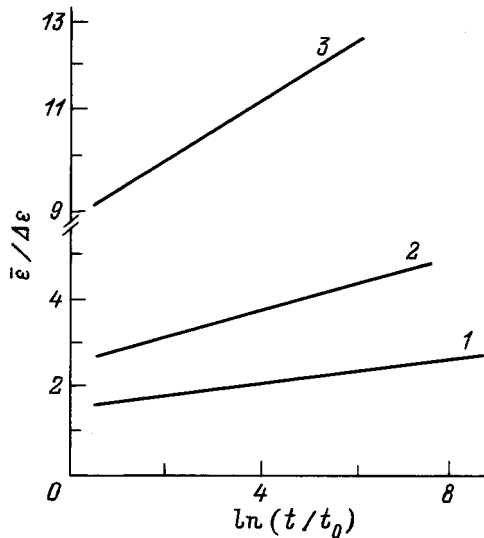


Рис. 2. Зависимость $\bar{\varepsilon}/\Delta\varepsilon$ от $\ln(t/t_0)$ для несоизмерной фазы кристалла Rb_2ZnCl_4 при различных температурах ΔT . ΔT (К): 1 — 0.27, 2 — 0.72, 3 — 1.18.

вид кривых $\varepsilon(t)$, приведенных на рис. 1. Поэтому процесс релаксации можно считать изотермическим по окончании времени t_0 , в течение которого происходит выравнивание температуры образца и криостата. В случае когда для создания неравновесного состояния использовалось механическое напряжение, $t_0 \approx 1$ с, а в том случае, когда неравновесное состояние создавалось путем изменения температуры, в расчет принимались экспериментальные данные, полученные через $t_0 = 1$ с после полной стабилизации температуры.

Результаты исследований релаксации диэлектрической проницаемости Rb_2ZnCl_4 из различных начальных не-

равновесных состояний приведены на рис. 1. Видно, что сравнительно быстрое изменение ε происходит в первые несколько минут. Результаты определения характера эволюции солитонной системы приведены на рис. 2, где на основании экспериментальных данных построены зависимости $\bar{\varepsilon}/\Delta\varepsilon$ от $\ln(t/t_0)$. Как видно из этого рисунка, изменение ε от времени при больших отклонениях от равновесия происходит по логарифмическому закону, описываемому формулой (1). Следует отметить, что в отличие от данных, приведенных в работе [2], этот закон соблюдается и при больших временах (до нескольких часов) при температурах, близких к T_c , независимо от того, каким способом солитонная система была выведена из равновесия. При этом интервал времени, в течение которого происходит изменение состояния солитонной системы по логарифмическому закону, сильно увеличивается с приближением к T_c . Из рис. 2 видно, что с приближением к T_c наклон прямых линий по отношению к оси абсцисс уменьшается ($G = 0.06$ при $\Delta T = 0.27$, $G = 0.6$ при $\Delta T = 1.2$), т.е. согласно [1], время релаксации до определенного значения $\bar{\varepsilon}/\Delta\varepsilon = \text{const}$ увеличивается.

Таким образом, результаты эксперимента свидетельствуют о том, что при большом отклонении от равновесного состояния, создаваемом как большими механическими напряжениями $\sigma = 50 - 60$ бар, так и путем изменения температуры из исходной фазы до заданной температуры в области T_c , аномальная диэлектрическая проницаемость и соответствующие межсолитонные расстояния (так как $\Delta\varepsilon/\bar{\varepsilon} \approx \Delta l/\bar{l}$) несоизмерной сверхструктуры сегнетоэлектрика изменяются со временем по логарифмическому закону, а не по экспоненциальному, как предполагалось в [1]. Причем этот закон, основанный на представлениях о релаксации как о термоактивационном процессе, соблюдается в интервале времен от нескольких секунд до нескольких часов.

Авторы признательны В.В. Гладкому за полезные обсуждения и дискуссии.

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

Список литературы

- [1] H.Z. Cummins. Phys. Rep. **185**, 211 (1990).
- [2] В.В. Гладкий, В.А. Кириков, Е.С. Иванова. ЖЭТФ **110**, 1(7), 293 (1996).
- [3] В.В. Гладкий, В.А. Кириков, Е.С. Иванова. Письма в ЖЭТФ **58**, 8, 625 (1993).
- [4] Е.Б. Коломейский. ЖЭТФ **99**, 562 (1991).