

# Эффекты размытия фазовых переходов в сегнетоэлектриках – релаксорах

Л.А. Кладенюк

Одна из актуальнейших проблем современной физики в области исследования фазовых переходов связана с исследованием сегнетоэлектриков сложного состава со структурой типа перовскита, в которых не наблюдается четкого фазового перехода. В связи с этим появилось новое название сегнетоэлектрик с размытым фазовым переходом. В таких сегнетоэлектриках наблюдается релаксационный характер диэлектрической поляризации в области фазового перехода. Такие опытные факты удастся объяснить, если предположить, что размытие фазового перехода обусловлено флуктуациями состава. Согласно этим представлениям различные области кристалла (линейный размер  $\sim 100$  Å) имеют различные температуры Кюри. Предполагается, что релаксация обусловлена 1) движением границ между полярной и неполярной фазами или 2) зарождением и исчезновением полярных областей. Второй механизм был рассчитан в работе, в которой была обобщена теория Дебая на случаи, когда число релаксаторов меняется с температурой (с максимумом: в средней точке Кюри  $T_{cp}$ ). При таком подходе возникает возможность объяснения различных опытных фактов, например температурной зависимости  $\epsilon$  [1, 2, 3].

Для эффектов релаксационной поляризации микроскопических полярных областей в сегнетоэлектриках–релаксорах [4, 10] при  $T > T_m$  описывается законом (1)

$$\epsilon = \frac{1}{A + B T^m}, \quad (1)$$

где  $A, B$  – константы;  $m$  – принимает значение от 1,5 до 2,0 [5,7]. Также отличительным признаком сегнетоэлектриков–релаксаров является существование спонтанной поляризации сопутствующих ей свойств

(пьезоэффекта, пироэффекта и др.) при  $T > T_m$ . Отметим, что  $T_m$  в этих объектах увеличивается с увеличением частоты измерительного поля.

Таблица. Температурно-зависимые коэффициенты по петлям гистерезиса в представлении полиномами

Коэффициенты	Материалы		
	PMN	0.9PMN-0.1PT	PLZT 12/40/60
$A_0(Vm/C)$	$1,04 \cdot 10^8$	$0,17 \cdot 10^8$	$5,55 \cdot 10^8$
$A_1(Vm/CK)$	$-0,79 \cdot 10^6$	$-0,21 \cdot 10^6$	$-2,67 \cdot 10^6$
$A_2(Vm/CK^2)$	$1,57 \cdot 10^3$	$0,53 \cdot 10^3$	$3,25 \cdot 10^3$
$B_0(Vm^5/C^3)$	$-3,23 \cdot 10^9$	$0,29 \cdot 10^9$	$8,65 \cdot 10^9$
$B_1(Vm^5/C^3K)$	$2,11 \cdot 10^7$	$-0,15 \cdot 10^7$	$-8,73 \cdot 10^7$
$B_2(Vm^5/C^3K^2)$	$-3,46 \cdot 10^4$	$0,16 \cdot 10^4$	$16,6 \cdot 10^4$
$C_1(Vm^9/C^5)$	$1,04 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^9$	$-4,19 \cdot 10^{11}$
$C_1(Vm^9/C^5K)$	$-5,17 \cdot 10^7$	0	$2,90 \cdot 10^8$
$C_2(Vm^9/C^5K^2)$	$8,07 \cdot 10^4$	0	$-4,51 \cdot 10^6$

Коэффициенты	Материалы		
	PLZT 9/65/35	SBN	BTS-3.5
$A_0(Vm/C)$	$1,24 \cdot 10^8$	$0,14 \cdot 10^8$	$1,89 \cdot 10^8$
$A_1(Vm/CK)$	$-0,62 \cdot 10^6$	$-0,12 \cdot 10^6$	$-1,27 \cdot 10^6$
$A_2(Vm/CK^2)$	$0,84 \cdot 10^3$	$0,26 \cdot 10^5$	$2,14 \cdot 10^3$
$B_0(Vm^5/C^3)$	$1,38 \cdot 10^9$	$-1,97 \cdot 10^9$	$4,08 \cdot 10^9$
$B_1(Vm^5/C^3K)$	$-1,31 \cdot 10^7$	$0,63 \cdot 10^7$	$-2,18 \cdot 10^7$
$B_2(Vm^5/C^3K^2)$	$2,3 \cdot 10^4$	0	$12,8 \cdot 10^4$
$C_1(Vm^9/C^5)$	$1,24 \cdot 10^{11}$	$4,11 \cdot 10^{10}$	$-2,17 \cdot 10^{13}$
$C_1(Vm^9/C^5K)$	$-7,19 \cdot 10^8$	$-1,18 \cdot 10^8$	$1,57 \cdot 10^{13}$
$C_2(Vm^9/C^5K^2)$	$1,08 \cdot 10^6$	0	$-2,83 \cdot 10^8$

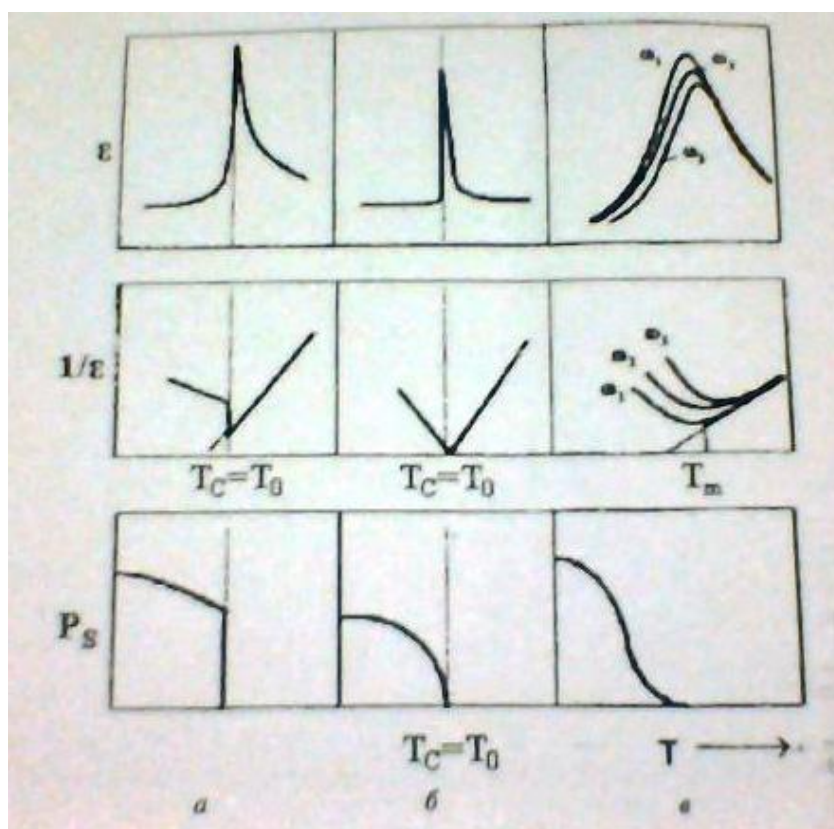


Рис.2. Гистограмма локальных  $T_C$  для различных количеств дислокации в объеме  $1 \times 10^{-10} \text{ см}^3$ : сплошные линии – аппроксимации распределения функции Гауса; а – 1; б – 10; в – 50; г – 100

В работе [6, 8, 9] подробно анализируется модель, в которой выдвигаются следующие положения:

- в релаксорах существуют микроскопические полярные области, обусловленные неоднородностью распределения атомов разного сорта;
- эти области независимы, т.е. каждая область имеет свой дипольный момент, который может независимо переключиться;
- в ромбоэдрической фазе дипольные моменты могут ориентироваться только в одном из направлений [111].

С использованием термодинамической теории Ландау плотность свободной энергии для сегнетоэлектриков-релаксаров можно записать как (2):

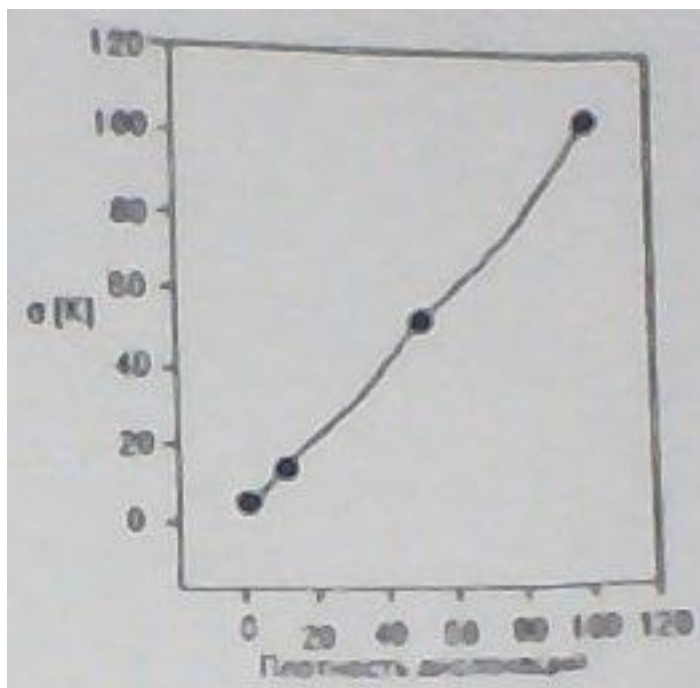


Рис.3. Зависимость полуширины гауссовской функции  $\sigma$ [K] и числом дислокаций

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sqrt{\frac{b}{\rho}} \quad (2)$$

Температурно-зависимые коэффициенты  $A(T)$ ,  $B(T)$ ,  $C(T)$  могут быть определены по петле гистерезиса в их представлении полиномами (3)

$$A(T) = A_0 + A_1 T + A_2 T^2; \quad B(T) = B_0 + B_1 T + B_2 T^2; \quad (3)$$

$$C(T) = C_0 + C_1 T + C_2 T^2$$

В таблице приведены результаты таких расчетов при обработке экспериментальных данных для материалов PMN, 0.9PMN-0.1PbTiO<sub>3</sub>, PLZT 12/40/60, PLZT 9/65/35, SBN и BTS – 3.5.

Во всех рассмотренных материалах в релаксорных фазах величина дипольных моментов уменьшается с увеличением температуры. При увеличении температуры до  $T_m$  монодоменный кристалл разбивается на малые полярные области. Этот процесс продолжается до предельной температуры  $T > T_m$ . При более высоких  $T$  концентрация полярных областей уменьшается, и кристалл становится нормальным параэлектриком.

**Литература:**

1. Смоленский Г.А. Научная сессия Отделения общей физики и астрономии академии наук СССР совместно с Отделением физико-технических и математических наук Академии наук Молдавской ССР – Кишинев, 1973 г., С.331-351.

2. Ляпин А.А., Кадомцев М.И., Тимофеев С.И. Исследование деформирования частично заглубленного фундамента при гармоническом воздействии с использованием МКЭ– // «Инженерный вестник Дона», 2011, №4. –Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/700> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. Рус.

3. Снежков В.И. , Столбовская Н.Н. , Камошенкова Е.В. , Корабельников Г.Я. Направления повышения конкурентоспособности коммерческих банков на рынке автокредитования в Ростовском регионе– // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4 (часть 2). –Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1315> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. Рус.

4. Cross L.E. // *Ferroelectrics*. 1987. V.76. P.241-267

5. Смоленский Г.А., Боков В.А., Исупов В.А. и др. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики // Л. 1971. С.476.

6. Skulski R. The diffusion of the phase transitions in the selected groups of ferroelectrics and relaxors. Katowice, 1999, P.345

7. Skulski R. // *Mater. Sci. and Engineering*. 1999. V.B64. P.39-43.

8. Захарченко И.Н., Дудек Ю., Дудкевич В.П. и др. // Рукопись деп. ВИНТИ. 1985. № 2956 – В88. с.423.

9. Surowiak Z., Margolin A.M., Birukov S.V. et al/ // *Inzynieria materialova*. 1988. V.4. P. 87-95.

10. Блинц Р., Жекш Б. Мягкие моды в сегнетоэлектриках и антисегнетоэлектриках. М, 1975, с.398