

ФРАКТАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР КРУПНОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ СОСТОЯНИЙ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКАХ С РАЗМЫТЫМ ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ

А.Л.Корженевский, Л.С.Камзина^{*1}), О.Ю.Коршунов*

*Государственный электротехнический университет
197376 Санкт-Петербург, Россия*

**Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе РАН
194021 Санкт-Петербург, Россия*

Поступила в редакцию 28 декабря 1994 г.

Измерена угловая зависимость аномального вклада в интенсивность рассеянного света $I(\theta)$ в разупорядоченных кристаллах $\text{PbSc}_{1/2}\text{Ta}_{1/2}\text{O}_3$ (PST). При изменении величины интенсивности на 4 порядка наблюдается ее степенная зависимость: $I(\theta) \sim \theta^{-\alpha}$, $\alpha = 3,2$. Вопрос о физической природе оптических неоднородностей с широким распределением масштабов обсуждается в терминах фрактальных представлений.

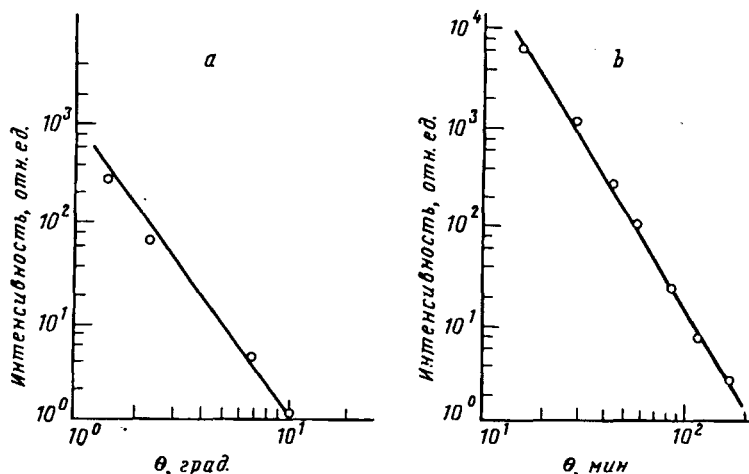
Исходя из модельных соображений о наличии флуктуаций локальной температуры фазового перехода в неупорядоченных сегнетоэлектриках с размытым фазовым переходом (РФП), в [1,2] была предсказана возможность появления в них аномальных пиков интенсивности света, рассеянного под малыми углами. В последние годы подобные узкие пики были обнаружены в ряде разупорядоченных сегнетоэлектриков ($\text{PbSc}_{1/2}\text{Ta}_{1/2}\text{O}_3$ (PST), $\text{PbSc}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$, $\text{PbZn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$) на кривых температурной [3,4] и полевой [5] зависимостей. Резкий рост малоугловой интенсивности рассеянного света $I(\theta)$ вплоть до минимальных экспериментально доступных углов рассеяния $\theta_{\min} \sim 20'$ свидетельствовал о наличии внутренних процессов перколяционного типа, однако имевшихся экспериментальных данных было недостаточно для количественного описания статистических характеристик возникающих пространственно-неоднородных стохастических структур.

В настоящем сообщении мы приводим результаты тщательных измерений интенсивности малоуглового рассеяния света на серии образцов кристаллов PST с разной степенью упорядочения ионов Sc^{3+} и Ta^{5+} (s) (PSTI, $s = 0,95$, температура максимума диэлектрической проницаемости $T_c = 43^\circ\text{C}$; PSTII, $s = 0,7$, $T_c = 23^\circ\text{C}$), которые впервые позволяют сделать вывод о фрактальном характере появляющихся структур. Степень упорядочения ионов s контролировалась рентгенографически по интенсивностям сверхструктурных линий. Измерения проводились на монокристаллических образцах в форме параллелепипеда, вырезанных вдоль кристаллографического направления [100]. Длина образцов в направлении распространения света составляла 0,2–1 мм. Схема установки для измерения температурных зависимостей интенсивности малоуглового рассеяния света описана в работе [1].

На рисунке в двойном логарифмическом масштабе представлены экспериментальные зависимости $I(\theta)$ для кристаллов PSTI (а) и PSTII (б) при разных углах рассеяния. Как видно из рисунка, в доступном для измерений интенсивности интервале углов рассеяния $20' < \theta < 10^\circ$ точки достаточно хорошо

¹) e-mail: kamzin@prf.shuv.pti.spb.u

ложатся на прямую с наклоном $\alpha = 3,2$. Это значит, что по крайней мере в интервале размеров 20–0,6 мкм пространственно-неоднородная структура является фрактальным объектом, а не состоит из случайно расположенных трехмерных (евклидовых) неоднородностей конечного масштаба, так как в последнем случае малоугловое рассеяние должно было бы описываться значением показателя $\alpha = 4$ (закон Порода) [6].



а – Угловая зависимость интенсивности рассеянного света для кристаллов PSTI; б – PSTII при температуре аномального пика

Разумеется, знание значения индекса Порода α отнюдь не исчерпывающим образом определяет фрактальную геометрию, однако тот факт, что $3 < \alpha < 4$, позволяет отнести наблюдаемую рассеивающую структуру к классу так называемых поверхностных фракталов, поскольку для "массовых" (объемных) фракталов значение α равно их хаусдорфовой размерности d_f и должно быть меньше трех [7].

Для поверхностных фракталов показатель α связан с хаусдорфовой размерностью d_s ($3 > d_s > 2$) "огрубленной" поверхности трехмерной неоднородности известным соотношением [7] $\alpha = 6 - d_s$, откуда в нашем случае получаем $d_s = 2,8$ и, следовательно, поверхность сильно изрезана.

Какой же физический объект соответствует обнаруженному в эксперименте по светорассеянию поверхностному фракталу? Ясно, что физические свойства на его границе должны меняться резко на масштабах порядка длины волны света, так как в противном случае индекс Порода α оказался бы больше четырех [6]. В качестве возможных кандидатов на роль такого фрактала естественно рассмотреть доменные и (или) межфазные границы, поскольку известно, что в полностью упорядоченных кристаллах PST с $s = 1$ имеет место сегнетоэлектрический фазовый переход 1-го рода, и это свойство, по-видимому, сохраняется для локальных фазовых переходов в неупорядоченных кристаллах. В свою очередь, появление "огрубленных" доменных и межфазных границ из-за пиннинга на дефектах является эффектом, характерным для достаточно сильно разупорядоченных твердых тел (см., например, [8]).

Заслуживает упоминания также тот факт, что в неупорядоченных кристаллах PST существует более упорядоченный в сравнении с объемом приповерх-

ностный слой [4]. Его граница также может обладать фрактальной структурой, сформировавшейся в процессе неравновесного роста кристалла.

Вопрос о том, какая конкретно из указанных возможностей реализуется на практике, нуждается в дальнейшем исследовании.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-02-14156).

-
1. Л.С.Камзина, А.Л.Корженевский, Письма в ЖЭТФ **50**, 146 (1989).
 2. A.L.Korzhenevskii, *Ferroelectrics* **100**, 39 (1989).
 3. L.S.Kamzina and A.L.Korzhenevskii, *Ferroelectrics* **131**, 91 (1992).
 4. Л.С.Камзина, А.Л.Корженевский, О.Ю.Коршунов, ФГТ **36**, 479 (1994).
 5. Л.С.Камзина, Н.Н.Крайник, А.Л.Корженевский, Письма в ЖЭТФ **56**, 532 (1992).
 6. P.W.Schmidt, *J.Appl. Cryst.* **24**, 414 (1991).
 7. H.D.Bali and P.W.Schmidt, *Phys. Rev. Lett.* **53**, 596 (1984).
 8. G.Forgacs, R.Lipowsky, and Th.M.Nieuwenhuizen, in *Phase Transition and Critical Phenomena*, ed. C.Domb and J.L.Lebowitz, London etc. Acad. Press **14**, 135 (1991).