

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 537.226.33

ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ  
ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕОДНОРОДНЫХ СОСТОЯНИЙ  
ПРИ КУБИЧЕСКО-ТЕТРАГОНАЛЬНОМ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ в  $\text{BaTiO}_3$ 

С. Б. Кругляшов, А. А. Петров, А. Т. Анистратэв

Известно, что поведение некоторых свойств в кубической фазе титаната бария не подчиняется простой модели разложения Ландау [1]. Например, коэффициенты упругооптического эффекта обнаруживают несвойственную им зависимость от температуры [2]. Ряд авторов связывают эти отклонения с флуктуациями поляризации и используют для их описания приближение Орнштейна—Цернике [2, 3]. Однако теоретические оценки, в частности для диэлектрической проницаемости, не согласуются с экспериментом даже по порядку величины [3]. Эти неудачи стимулируют поиск более реалистичных путей объяснения необычных свойств  $\text{BaTiO}_3$  и родственных сегнетоэлектриков.

Недавно показано, что вблизи кубическо-тетрагонального фазового перехода (ФП) в  $\text{BaTiO}_3$  возможно образование статических пространственно-неоднородных состояний [4]. Неоднородности должны иметь регулярный характер и, значительно превышая размеры элементарной ячейки кристалла, должны быть доступны традиционным оптическим методам.

Цель настоящей работы — поляризационно-оптическое изучение эволюции изменений оптической неоднородности титаната бария в кубической фазе при приближении к точке ФП. На кристаллах  $\text{BaTiO}_3$  такие исследования ранее не проводились. В экспериментах использованы кристаллы, выращенные по методу Ремейки.

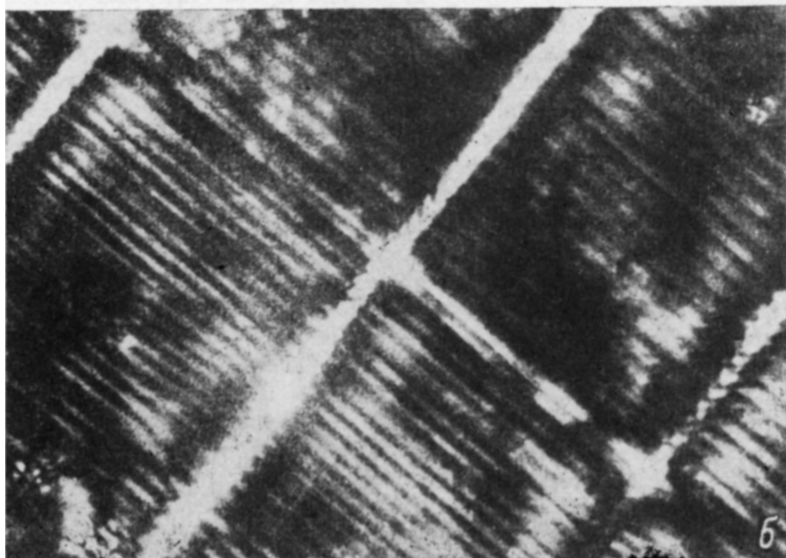
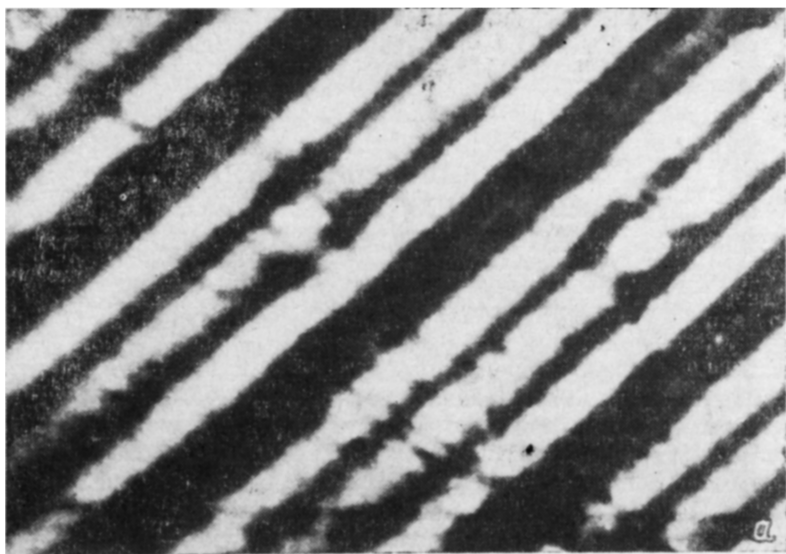
Изучаемые образцы имели вид плоскопараллельных пластинок с естественно полированными гранями (001) площадью 6—13 мм<sup>2</sup> и толщиной 50—80 мкм. Образцы помещались в термостатируемую камеру, смонтированную на предметном столике поляризационного микроскопа типа МП-3. Наблюдения проведены в белом свете в интервале температур 293—505 К. Температура образцов измерялась медь-константановой термопарой с точностью  $\pm 0.1$  К. Градиент температуры не превышал  $\pm 0.1$  К. Температуры ФП при нагревании и охлаждении варьировались от образца к образцу в пределах:  $T_c^+$  (380.8—389.6) и  $T_c^-$  (378.7—387.5) К. Исследованию было подвергнуто около 40 образцов. Результаты могут быть суммированы следующим образом.

Наблюдения в скрещенных николях показали, что полная оптическая изотропия (равномерное и полное погасание) достигается лишь при  $T \gg \gg 413$  К. При охлаждении поле зрения утрачивает равномерность потемнения и темный фон постепенно светлеет.

Вблизи точки ФП в интервале  $\sim T_c + 4$  К во всем поле зрения плавно возникает картина из параллельных белых полос, собранных в триады и ориентированных в направлении [110] (см. рисунок, а). Одна из крайних полос в каждой триаде заметно ярче других и визуализируется раньше остальных. При приближении к точке ФП центральные полосы уширя-

ются постепенно, приобретая радужную окраску. Ширина полосы составляет  $\sim 5$ , а расстояние между ними  $\sim 15$  мкм.

ФП протекает довольно сложным образом. Примерно за  $0.1$  К до  $T_c$  по кристаллу проходит первый фронт, за которым ширина полос скачкообразно возрастает втрое. Практически сразу идет второй фронт — обыч-



Микрофотографии крупномасштабных регулярных неоднородностей в кубической фазе  $\text{BaTiO}_3$  вблизи  $T_c$ : а —  $1000\times$ , б —  $1400\times$ .

ное доменообразование. При этом наиболее яркие линии в каждой триаде становятся доменными границами. Формируемая доменная структура полностью идентична исходной, которая имела вид широких параллельных полос, представляющих собой  $a$ -домены. Цикл нагревание—охлаждение в интервале  $293$ — $505$  К повторялся трижды. Описанные процессы воспроизводились полностью.

Вблизи ФП наблюдались пространственно-неоднородные состояния и несколько иного вида. В интервале  $\sim T_c + 2.5$  К, одновременно и плавно захватывая все поле зрения, возникает сетка, состоящая из двух систем

параллельных белых полос (рис. 1, б), ориентированных соответственно по направлениям  $[110]$  и  $[\bar{1}\bar{1}0]$ . Размер ячейки  $\sim 0.05 \times 0.06$  мкм. В области  $\sim T_c + 1.5$  К внутри каждой ячейки появляются дополнительные параллельные светлые полосы, равноотстоящие друг от друга на  $\sim 2$  мкм. Эта картина после ФП трансформируется в один крупный  $a$ -домен.

Значительно чаще в поле зрения микроскопа наблюдаются неоднородности в виде блоков небольшой площади из параллельных светлых полос, ориентированных, как и в предыдущем случае, по направлениям  $[110]$  и  $[\bar{1}\bar{1}0]$ .

Согласно [4], возникновение крупномасштабных неоднородностей обусловлено упругими деформациями и может быть описано на основе разложения Ландау, в которое вводится случайное поле локальной температуры ФП. При этом энергетически выгодны включения новой фазы в виде совокупности (а для многоосного сегнетоэлектрика  $\text{BaTiO}_3$  совокупностей) эквивалентных полос. Формы неоднородностей, реализующихся в конкретных случаях, существенно зависят от содержания и распределения в кристалле точечных дефектов, дислокаций, остаточных напряжений и т. д.

Для  $\text{BaTiO}_3$  температурный интервал существования регулярных неоднородностей оценивается равным  $\sim 1.5$  К, а их характерный масштаб колеблется в пределах от нескольких единиц до десятков мкм [4]. Эти оценки неплохо согласуются с данными наших экспериментов (см. рисунок, а и б). Здесь только во избежание недоразумений необходимо заметить, что не следует называть регулярные неоднородности кубической фазы сетками Форсберга, как это делается в [4]. Сетка Форсберга («squa-genet pattern») — специфическая доменная картина, наблюдавшаяся в  $\text{BaTiO}_3$  ниже  $T_c$  [5].

Плавная визуализация пространственно-неоднородных состояний вблизи ФП дает основание предположить, что их зарождение происходит задолго до  $T_c$ . Предварительные наблюдения показывают, что малоугловое рэлеевское рассеяние, существуя в широком интервале  $\sim \Delta T = T_c + 40$  К, аномально возрастает вблизи  $T_c$ . Эти обстоятельства необходимо учитывать при описании необычных свойств  $\text{BaTiO}_3$  и родственных сегнетоэлектриков.

Выражаем признательность Ю. Ф. Маркову, А. Л. Корженевскому и Э. В. Бурсиану за полезное обсуждение затронутых вопросов.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1964. 567 с.
- [2] Cohen M. G., DiDomenico M., Wemple S. H. Phys. Rev., 1970, vol. B 1, N 11, p. 4334—4336.
- [3] Kleemann W., Schäfer F. J., Fontana M. D. Phys. Rev., 1984, vol. B 30, N 3, p. 1148—1154.
- [4] Корженевский А. Л. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1984, т. 48, № 6, с. 1069—1072.
- [5] Forsberg P. W. Phys. Rev., 1949, vol. 76, N 8, p. 1187—1201.

Сибирский технологический  
институт  
Красноярск

Поступило в Редакцию  
23 ноября 1987 г.