

$ZrTiO_3$  могут быть использованы для создания интегральных пленочных болометрических приемников при азотном уровне охлаждения.

В заключение авторы выражают благодарность В.И. Стафееву, Н.Ф. Кошавцеву, М.А. Баталиной, Т.В. Потапенко, Ю.Л. Сазонову и А.Р. Меркертумянцу за полезные обсуждения и помощь в подготовке экспериментов.

## Л и т е р а т у р а

- [1] Интегральные схемы и микроэлектронные устройства на сверхпроводниках. / Под ред. В.Н. Алфеева., М.: Радио и связь, 1985. 232 с.
- [2] Алфеев В.Н. Сверхпроводники, полупроводники и параэлектрики в криоэлектронике. М.: Сов. радио, 1979. 408 с.
- [3] Заичев-Зотов С.В., Мартынюк А.Н., Протасов Е.А. - ФТТ, 1983, т. 25, в. 1, с. 184.
- [4] Wu X.D., Dijkamp D., Ogale S.B. - Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, N 11. p. 1861-1863.
- [5] Dijkamp D. and Venkatesam T. - Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, N 8 p. 619-621.

Московский инженерно-физический институт

Поступило в Редакцию  
5 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 14

26 июля 1988 г.

## НАБЛЮДЕНИЕ РАЗМЫТОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В ЦТСЛ-КЕРАМИКЕ АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Н.К. Юшин, Г. Гулямов,  
Н. Маматкулов, Н. Мухтаров

Из-за хороших электрооптических, диэлектрических и пьезоэлектрических свойств сегнетокерамика цирконата-титаната свинца-лантана ( $Pb, La$ ) ( $Zr, Ti$ )  $O_3$  (сокращенно ЦТСЛ  $X/Y/Z$ , где  $X$  - концентрация  $La$  в %;  $Y/Z$  - соотношение  $Zr/Ti$ ) нашла широкое применение в технике в качестве оптических модуляторов, переключателей, затворов и т.д. [1-6]. В то же время необычные физические свойства ЦТСЛ привлекли к себе внимание с точки зрения исследования фундаментальных вопросов фазовых переходов (см. монографию [6]). Существующие данные о составах ЦТСЛ [1] показывают, что при определенных соотношениях компонент  $X/Y/Z$  наблюдается широкий максимум диэлектрической проницаемости, но до сих пор не ясно, является ли это указанием на существование фазового перехода [3]. Действительно, в этих материалах не наблюдается спонтанный фазовый переход (ФП) из высокотемпера-

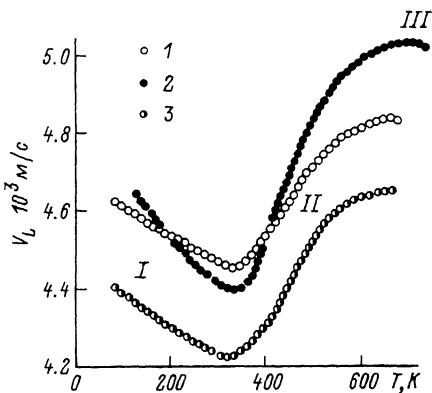


Рис. 1. Температурная зависимость скорости продольной упругой волны  $V_L$  в ромбоэдрических составах ЦТСЛ керамики X/65/35: 1 - X=7, 2 - X=8, 3 - X=9.

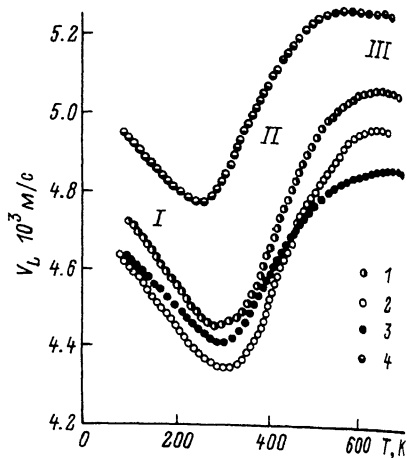


Рис. 2. То же, что и на рис. 1 для тетрагональных составов 1 - 12/50/50, 2 - 14/50/50, 3 - 15/50/50, 4 - 20/30/70.

турной, кубической фазы в низкотемпературную, сегнетоэлектрическую, и в широком температурном интервале ниже температуры максимума диэлектрической проницаемости  $T_E$  не наблюдаются какие-либо сегнетоэлектрические свойства [1-6]. Переход в полярное состояние и истинные сегнетоэлектрические эффекты обнаруживаются ниже определенной температуры  $T_0$  ( $T_0 < T_E$ ) и лишь после приложения сильного электрического поля. Область  $T_0 < T < T_E$  вызывает большие дискуссии, ее связывают и с пенсегнетоэлектричеством [2], и с сосуществованием фаз [3-5], и с антисегнетоэлектричеством [6], однако единой точки зрения не существует. Если же реальный ФП действительно имеет место в тех составах ЦТСЛ, в которых существует широкий максимум диэлектрической проницаемости, то это должен быть размытый фазовый переход (РФП), который обязательно проявится в акустических свойствах.

Целью данной работы явилось изучение акустических свойств ЦТСЛ керамики, в которых в соответствии с фазовой диаграммой [1] можно ожидать существование РФП. В работе исследовались следующие составы: X/65/35 (при X=7, 8, 9) с ромбоэдрической низкотемпературной фазой; X/50/50 (при X=12, 14, 15) и 20/30/70 с тетрагональной структурой [1]. Образцы были получены по стандартной методике горячего прессования и были подвергнуты предварительному отжигу. Измерения скорости продольных упругих волн

Состав X/Y/Z	$T_{MIN}$	$T_{MAX}$	$T_{\epsilon}$	$T_{tg\delta}$	$T_D$	$T_c$	$T_0$	$T_c$ (O/Y/Z)
7/65/35	330	680	430	395	620	425	400	638
8/65/35	330	690	355	270	623	380	348	638
9/65/35	330	660	344	310	639	358	293	638
12/50/50	280	660	340	210		378	308	673
14/50/50	290	700	300	215		333	190	673
15/50/50	300	650				303	180	673
20/30/70	250	670	224	205		273	200	723

частоты 10 МГц проводились на неполяризованных образцах, не подвергавшихся воздействию электрического поля и имеющих форму прямоугольного параллелепипеда 10x6x6 мм<sup>3</sup>. Точность измерения абсолютных значений скорости была 20 м/с, а точность относительных измерений 0,01%. Диэлектрические измерения проводились на частоте 1 кГц мостовым методом.

Результаты измерений температурных зависимостей скорости  $V$  представлены на рис. 1 и 2. Для всех исследованных составов  $V(T)$  оказались похожими вне зависимости от симметрии низкотемпературной фазы.

На температурных зависимостях  $V(T)$  можно выделить два участка, на которых происходит спад величины скорости с увеличением температуры, т.е., как и в обычных диэлектриках, имеется отрицательный температурный коэффициент скорости звука (ТКС), между этими участками (отмеченными на рисунках 1 и 3) располагается область с положительным значением ТКС (область П, которая составляет 300–350 К).

Значения температур -  $T_{MIN}$ , разделяющие области 1 и П, и  $T_{MAX}$  на границе между П и Ш приведены в таблице, где представлены также температуры, при которых наблюдаются максимумы диэлектрической проницаемости  $T_{\epsilon}$  и тангенса диэлектрических потерь  $T_{tg\delta}$ . В таблице приводятся также значения температур  $T_c$  и  $T_0$ , полученные из данных фазовой диаграммы [1], либо путем экстраполяции к отрицательным температурам, и температуры  $T_D$ , при которой начинается спад показателя преломления  $n(T)$  из-за возникновения полярных областей в РФП [7]. В последнем столбце таблицы находятся значения температуры  $T_c$  для состава O/Y/Z [1].

Обращает на себя внимание тот факт, что наблюдаемое в ЦТСЛ поведение скорости  $V(T)$  (рис. 1 и 2) совпадает по характеру с температурной зависимостью скоростей упругих волн в кристалле магнитообата свинца - сегнетоэлектрике с РФП [8]. В то же время для керамики с обычным ФР наблюдается скачок скорости при температуре  $T_c$ , в качестве примера на рис. 3 показана зависимость  $V(T)$  для промышленной пьезокерамики ЦТС-1.9 ( $Pb_{0.95}Sr_{0.05}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3 + 1\%Nb_2O_5$ ). Поэтому экспериментальные результаты по ЦТСЛ можно интерпретировать как проявление РФП. Следуя пред-

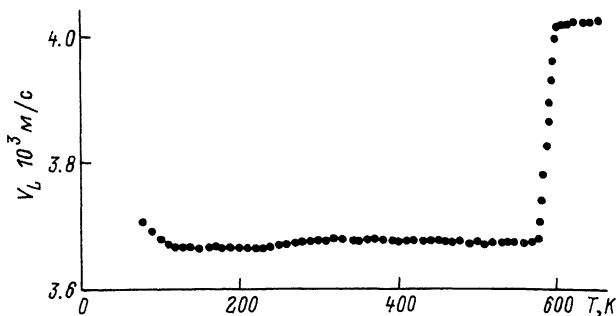


Рис. 3. То же, что и на рис. 1 и 2 для керамики ЦТС-19.

ложенному в [8] описанию, для таких материалов область с положительным ТКС можно интерпретировать как растянутый на 300–350 К ФП, в котором при  $T_D \geq T_{MAX}$  в образце возникают первые области (кластеры) с ненулевым параметром порядка, эти области по мере охлаждения разрастаются до тех пор, пока при  $T_F \leq T_{MIN}$  не заполнят весь объем образца. Отметим, что акустические данные не могут дать информацию о природе параметра порядка. Что касается участков с отрицательными ТКС, то его можно связать с обычным для диэлектриков ангармонизмом решетки в упорядоченной фазе (участок I) и парафазе (участок III).

Сравнение значений температур, приведенных в таблице, позволяет установить следующее их соотношение:

$$T_{\text{ср}} < T_{MIN} < T_E \ll T_D \leq T_{MAX}.$$

Различие температур  $T_D$  и  $T_d$ , полученное по  $n(T)$  [7] и из  $V(T)$ , связано, по-видимому, с тем, что акустические измерения оказываются более чувствительными к появлению локальной поляризации, чем оптические. Кроме того, в отличие от [7], где  $T_D \approx T_C(0/Y/Z)$ , не обнаруживается какой-либо корреляции между  $T_{MAX}$  и  $T_C(0/Y/Z)$ . Действительно, если для ромбоэдрических составов (X/65/35)  $T_{MAX} > T_C(0/Y/Z)$ , то для тетрагональных составов нет единообразия: для составов (14/50/50) и (20/30/70)  $T_{MAX} > T_C(0/Y/Z)$ , а для (12/50/50) и (15/50/50)  $T_{MAX} \leq T_C(0/Y/Z)$ . Нет корреляции между  $T_D$  и  $T_F \leq T_{MIN}$ .

В заключение укажем, что ранее измерения акустических свойств керамики ЦТСЛ состава (X/65/35) было проведено в [9], но только для температур до 573 К, поэтому в [9] не удалось наблюдать максимума скорости звука  $V$  при  $T_d \approx 600$  К. Для состава 8/65/35 измеренного в [9] и в нашей работе, имеется согласие результатов.

Таким образом, в данной работе установлено, что температурная зависимость скоростей упругих волн в ЦТСЛ – керамике имеет ти-

личный для материалов с РФП вид, который находит свое качественное объяснение в рамках существующих представлений о кинетике РФП [8]. Обнаруженные особые температурные точки  $T_d \approx T_{MAX}$  необходимо внести в фазовые диаграммы состояний ЦТСЛ, как точки появления первых зародышей полярной фазы, означающих начало РФП, окончание которого происходит при температуре  $T_f$ , на 300-350 К меньшей  $T_d$ .

## Л и т е р а т у р а

- [1] H a e r t l i n g G.H., L a n d C.F. - J. Am. Ceram. Soc., 1971, v. 54, N 1, p. 1-11.
- [2] M e i t z l e r A.H., O' B r y a n Jr. - Proc. IEEE, 1973, v. 61, N 7, p. 959-966.
- [3] S t e n g e r C.G.F., B u r g g r a a f A.J. - J. Phys. Chem. Solids, 1980, v. 41, N 1, p. 17-41.
- [4] К р у м и н ь А.Э., Ш т е р н б е р г А.Р. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1987, т. 51, № 10, с. 1753-1758.
- [5] Y o k o s u k a M., M a r u t a k e M. - Jpn. J. Appl. Phys., 1986, v. 25, N 7, p. 981-992.
- [6] З а в а д с к и й Э.А., И ш у к В.М. Метастабильные состояния в сегнетоэлектриках, Киев: Наукова думка, 1987. 256 с.
- [7] B u r n s G., D a s o l F.H. - Phys. Rev., 1983, v. B28, N 5, p. 2527-2530.
- [8] С м о л е н с к и й Г.А., Ю ш и н Н.К., С м и р н о в С.И. - ФТТ, 1985, т. 27, № 3, с. 801-806.
- [9] K r a u s e J.T., O' B r y a n Jr. - J. Am. Ceram. Soc., 1972, v. 55, N 10, p. 497-499.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
17 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 14

26 июля 1988 г.

ЭФФЕКТ ГЕНЕРАЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
В ШЕЛОЧНОГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ  
МОШНЫХ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОНОВ  
НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

В.Ф. П и ч у г и н, В.Ф. С т о л я р е н к о

1. Создание мощных импульсных источников электронов и их использование для исследования твердых тел привело к открытию целого ряда новых явлений: плазменной люминесценции, высокоэнергетического