

## Влияние доменной структуры на электромеханические свойства сегнетокерамики ЦТС и МНВТ

© А.М. Антоненко, А.Ю. Кудзин, М.Г. Гавшин

Днепропетровский государственный университет,  
320625 Днепропетровск, Украина

(Поступила в Редакцию 6 ноября 1996 г.)

Для большинства сегнетоэлектрических материалов наличие доменной структуры оказывает существенное влияние на свойства материала. В частности, для сегнетокерамики ЦТС вблизи морфотропной фазовой границы доменный вклад в диэлектрическую проницаемость и пьезомодуль, измеренные при комнатной температуре, составляют по меньшей мере половину [1]. Диэлектрическая проницаемость и пьезомодуль представляются суммами внутренних (объемных) ( $\epsilon_{in}$ ,  $d_{in}$ ) и внешних, определяемых доменным смещением частей ( $\epsilon_{ex}$ ,  $d_{ex}$ ),

$$\begin{aligned} \epsilon &= \epsilon_{ex} + \epsilon_{in}, \\ d &= d_{ex} + d_{in}. \end{aligned} \quad (1)$$

В работе [1] проведено изучение влияния движения доменных границ на диэлектрические и пьезоэлектрические свойства керамики PZT-500. Показано, что вклад доменных процессов в свойства этого материала велик. Разделение диэлектрической проницаемости и пьезомодуля на внутренние  $\epsilon_{in}$ ,  $d_{in}$  и внешние  $\epsilon_{ex}$ ,  $d_{ex}$  основано на том, что движение доменных границ не вносит вклада в отклик материала на гидростатическое давление и гидростатический пьезомодуль  $d_h$  не связан с движением доменных границ. В работе [1]  $d_h$  не измерялся, а определялся из соотношения

$$d_h = d_{33} + 2d_{31}. \quad (2)$$

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния доменного вклада в пьезомодули керамики ЦТС-19в и твердых растворов на основе натровисмутового титаната. Пьезомодули  $d_{33}$  и  $d_{31}$  измерены методом резонанса [2] и квазистатическим методом пульсирующей нагрузки [3]. В отличие от [1] пьезомодуль  $d_h$  был измерен прямым методом на установке, в качестве рабочей среды которой использовался сжатый воздух. Измерения выполнены на образцах керамики ЦТС-19в и  $Me_x(Na_{0.5}Bi_{0.5})_{1-x}TiO_3$  ( $Me = Pb, Sr, Ca \dots$ ) (МНВТ).

Соединение МНВТ с добавками  $Me^{2+}O$  ( $Pb, Sr, Ca \dots$ ) при  $x = 13$  обнаруживает морфотропную границу, разделяющую ромбоэдрическую и тетрагональную фазы [4–6]. Керамика вблизи морфотропной границы обладает высокими пьезоэлектрическими параметрами. Сравнительная характеристика исследованных материалов приведена в таблице. Параметры МНВТ по ряду

показателей превосходят ЦТС. Характерной особенностью керамики МНВТ является сильная анизотропия коэффициента электромеханической связи.

Результаты измерений для ЦТС-19в и МНВТ представлены на рис. 1. Поведение пьезоэлектрических свойств ЦТС-19в и МНВТ существенно различно. Для керамики ЦТС-19в значения пьезомодуля  $d_h$ , измеренные прямым методом и вычисленные по формуле (2), близки во всем интервале температур. В керамике МНВТ различия между значениями  $d_h$ , измеренными разными методами, очень большие.

Согласно [11],  $d_{33}$  и  $d_{31}$  можно разложить на внутренний и внешний. Для этого экстраполируем зависимости пьезомодулей  $d_{33}$  и  $d_{31}$  от температуры жидкого азота к 0 К и исходим из предположения, что при 0 К доменные границы не движутся. Тогда при 0 К пьезомодули  $d_{33} = d_{33in}$ ,  $d_{31} = d_{31in}$ . С ростом температуры  $d_{33in}$

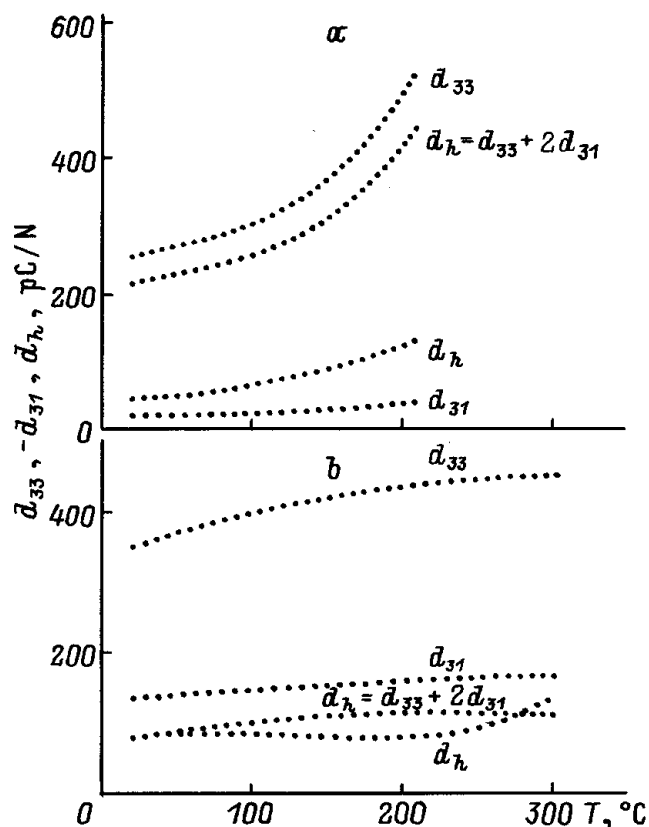


Рис. 1. Температурная зависимость пьезомодулей  $d_{33}$ ,  $d_{31}$ ,  $d_h$  керамики МНВТ (а) и ЦТС-19в (б).

Электромеханические свойства керамики МНВТ и ЦТС-19В

Керамика	$T_c, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_{33}^T$ (1 kHz)	$d_{33}, \text{pC/N}$	$d_{31}, \text{pC/N}$	$k_{33}, \%$	$k_{31}, \%$
МНВТ	210	1200	240	-20	80	18
ЦТС-19В	305	1700	345	-132	65	28

и  $d_{31\text{in}}$  изменяются как  $d_h$ . Внешние пьезомодули  $d_{33\text{ex}}$ ,  $d_{31\text{ex}}$  находим из (1). Температурные зависимости  $d_{\text{in}}$  и  $d_{\text{ex}}$  представлены на рис. 2.

Разделение пьезомодулей на внутренний и внешний показывает, что в ЦТС  $d_{33\text{in}}$  и  $d_{31\text{in}}$  сравнимы с  $d_{33\text{ex}}$  и  $d_{31\text{ex}}$ . С ростом температуры все пьезомодули растут. При приближении к фазовому переходу растет внутренний пьезомодуль, а пьезомодуль, связанный с движением доменных границ, падает. В керамике МНВТ пьезомодули  $d_{33\text{in}}$ ,  $d_{33\text{ex}}$ ,  $d_{31\text{in}}$  с ростом температуры растут. Пьезомодуль  $d_{31\text{ex}}$  становится отрицательным, что связано с большим ростом  $d_h$  в сравнении с  $d_{31}$ .

Сопоставляя данные, полученные в [1] при низких температурах, и наши экспериментальные результаты, можно предположить, что высокие пьезоэлектрические свойства керамики ЦТС вызваны движением доменных границ. Эксперименты, проведенные на кристаллах  $\text{Na}_{0.5}\text{Vb}_{1.5}\text{TiO}_3$ , показывают, что они состоят из сегнетоэластических доменов, которые легко переключаются

одноосным механическим напряжением и не изменяются под действием электрического поля. Поэтому в керамике МНВТ высокая пьезоактивность, вероятно, связана не только с движением доменных границ, но и с зарядами на сегнетоэластических доменных стенках.

## Список литературы

- [1] Q.M. Zhang, H. Wang, N. Kim, L.E. Cross. J. Appl. Phys. **75**, 1, 454 (1994).
- [2] IRE Standards on Piezoelectric Crystals: Measurements of Piezoelectric Ceramics. Proc. IREE **49**, 7, 1166 (1961).
- [3] Г.А. Лущейкин. Методы исследования электрических свойств полимеров. Химия, М. (1988). 160 с.
- [4] Tadashi Takenaka, Koichiro Sakata. Sensors and Materials, **3**, 123 (1988).
- [5] Н.В. Зайцева, В.А. Исупов, Н.Н. Парфенова, И.П. Пронин, Т.А. Шаплыга. Неорган. материалы **26**, 9, 1905 (1990).
- [6] Tadashi Takenaka, Koichiro Sakata, Kohji Toda. Ferroelectrics **106**, 375 (1990).

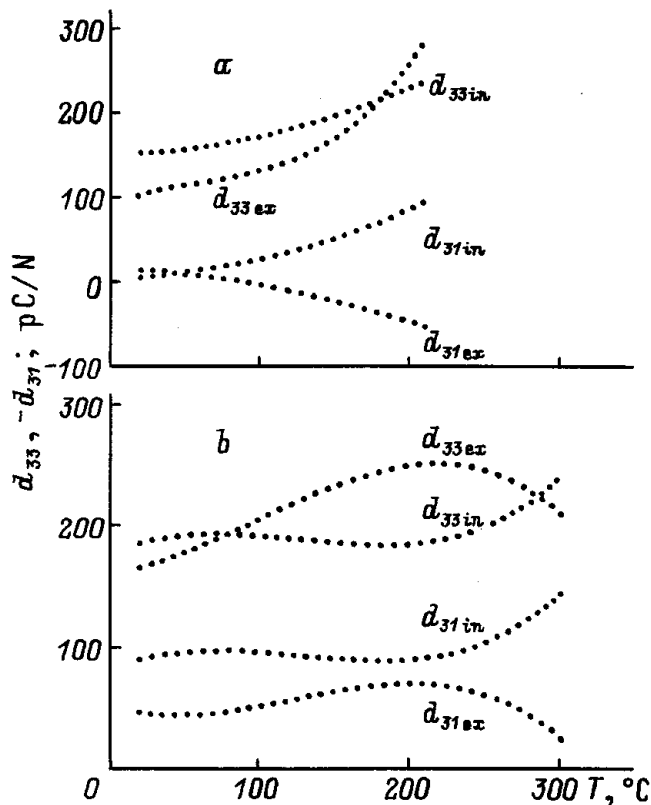


Рис. 2. Температурная зависимость пьезомодулей  $d_{33\text{in}}$ ,  $d_{31\text{in}}$ ,  $d_{33\text{ex}}$ ,  $d_{31\text{ex}}$  керамики МНВТ (а) и ЦТС-19В (б).