

## **ФИЗИКА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ**

УДК 537.226

### **ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОЦЕССЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ СЕГНЕТОКЕРАМИКИ ЦТС-46**

**Н. Н. Большакова, А. А. Быховец, В. В. Иванов, М. В. Каменщиков,  
Н. Н. Черешнева**

Тверской государственной университет,  
кафедра физики сегнетоэлектриков и пьезоэлектриков

Приведены результаты исследований электрофизических характеристик и процессов переключения сегнетоэлектрической керамики ЦТС-46, синтезированной с целью её применения в многослойных актюаторах. Установлено, что керамика ЦТС-46 имеет достаточно однородный состав и высокую степень поляризованности. Приложение к образцам внешнего поляризующего поля  $E = 0,5 \text{ кВ}\cdot\text{см}^{-1}$  вызывает появление импульсных процессов.

**Ключевые слова:** сегнетоэлектрическая керамика, электрофизические характеристики, процессы переключения

### **ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS AND SWITCHING PROCESSES IN FERROELECTRIC CERAMICS PZT-46**

**N. N. Bolshakova, A. A. Bykhovets, V. V. Ivanov, M. V. Kamenschikov,  
N. N. Cheresheva**

Tver State University,  
Chair of Ferroelectrics and Piezoelectrics Physics

Results are given of the study of electrophysical characteristics and switching processes of ferroelectric ceramics PZT-46 synthesized for its application in multilayer actuators. It is shown that PZT-46 ceramics is characterized by sufficiently uniform composition and high values of polarization. Application of an external field  $E = 0,5 \text{ kv cm}^{-1}$  results in appearance of pulse processes in the samples.

**Keywords:** ferroelectric ceramics, electrophysical characteristics, switching processes

**Введение.** Сегнетоэлектрическая керамика нашла широкое применение не только для изготовления пьезоэлементов [1], но и пьезоэлектрических актюаторов [2]. Успешное использование многослойных актюаторов (МКА) стало возможным благодаря разработке сегнетомягкого пьезокерамического материала ЦТС-46 с пониженной температурой спекания [3].

Целью настоящей работы является получение информации об электрофизических характеристиках и процессах переключения пьезокерамики ЦТС-46 и сравнение импульсных процессов, возникающих в пьезоэлементах и опытном образце актюатора, изготовленном на основе данной керамики.

**Методика эксперимента.** Электроёмкость и тангенс угла диэлектрических потерь пьезоэлементов измерены с помощью универсального измерителя E7-7 на частоте 1 кГц. Диэлектрическая проницаемость рассчитана по формуле:

$$\varepsilon = \frac{Cd}{\varepsilon_0 S},$$

где  $d$  – толщина диска,  $S$  – площадь,  $C$  – электроёмкость образца,  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$  – электрическая постоянная

Поляризованность пьезоэлементов оценивалась по значению пьезомодуля  $d_{31}$ . Пьезоэлектрические свойства керамики изучены в динамическом режиме. Импульсные процессы исследованы с помощью метода эффекта Баркгаузена [4, 5].

Исследования проведены на пьезоэлементах, изготовленных из пьезокерамики ЦТС-46 в форме дисков. Образцы металлизированы серебром, вожжённый слой имеет толщину около 6 мкм. Многослойный элемент МКА имеет размеры  $6 \times 6 \times 2,7$  мм и содержит 6 блоков. Электроёмкость МКА  $C = 2,43 \text{ мкФ}$ ,  $\text{tg}\delta = 0,014$ . При напряжении 100 В механическое перемещение МКА составляет 18 мкм.

В табл. 1 приведены результаты исследований электрофизических характеристик пьезокерамики ЦТС-46. Видно, что образцы толщиной  $d = 1$  мм имеют практически одинаковые значения диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь, пьезокоэффициента и пьезомодуля, что свидетельствует об однородности состава керамики.

Таблица 1. Электрофизические характеристики пьезокерамики ЦТС-46

№	$d$ , мм	$\varepsilon$	$\text{tg}\delta$	$\gamma, 10^{-4} \text{ Кл/К} \cdot \text{м}^2$	$d_{31}, 10^{-12} \text{ Кл/Н}$
1	1	750	0,18	3,7	2,1
2	1	700	0,19	3,6	2,0
3	1	750	0,19	3,7	2,1
4	1	750	0,19	3,8	2,0
5	1	700	0,18	3,6	2,2

**Полученные результаты и их обсуждение.** Результаты исследования скачкообразных процессов поляризации пьезокерамики ЦТС-46 представлены на рис. 1. Видно, что с увеличением напряженности поля, приложенного к пьезоэлементу, число скачков переполаризации монотонно возрастает. При  $E = 8 \text{ кВ см}^{-1}$  появляется тенденция к насыщению кривой  $N(E)$ , однако в более высоких полях число скачков переключения вновь возрастает. Это может быть связано с пьезоэлектрическим эффектом, сопровождающим процессы поляризации образца.

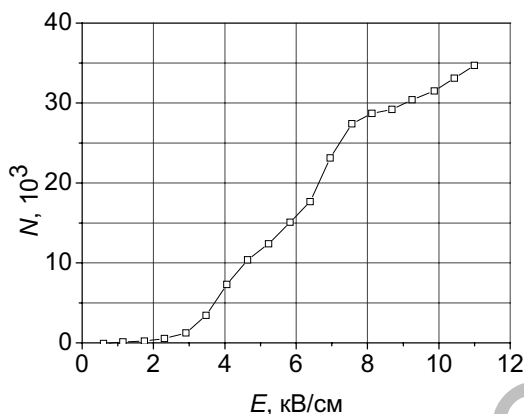


Рис. 1. Полевая зависимость числа скачков переключения, полученная в процессе поляризации образца пьезокерамики ЦТС-46.

Результаты исследований процессов поляризации и деполяризации керамики ЦТС-46 представлены на рис. 2.

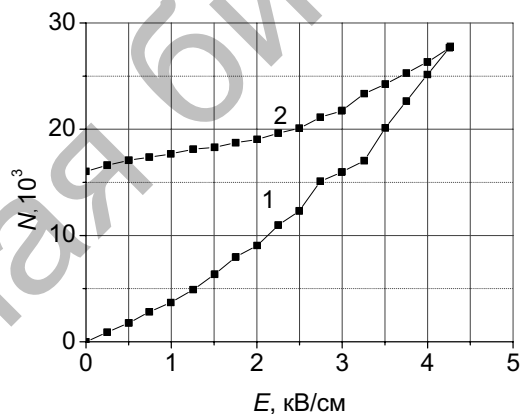


Рис. 2. Полевые зависимости числа скачков переполаризации для образца пьезокерамики ЦТС-46: 1 - процесс поляризации, 2 - процесс деполяризации пьезоэлемента

Кривая 1 отражает процесс поляризации керамического образца при ступенчатом увеличении внешнего электрического поля. Фиксировалось количество скачков Баркгаузена, возникающих в пьезоэлементе под воздействием поля в первые 15 секунд процесса. Видно, что в исследованном интервале полей кривая  $N(E)$  монотонно возрастает и её насыщения не наблюдается. В более высоких полях появляется тенденция к насыщению, при этом наряду со скачками переполаризации могут возникать шумы несегнетоэлектрической природы. При уменьшении поляризующего поля (кривая 2) зависимость  $N(E)$  монотонно убывает. Ход кривых 1 и 2 не совпадает и отражает гистерезисный характер процессов переключения.

Керамика ЦТС-46 разработана с целью её применения в актюаторах. Представляет интерес сравнить импульсные процессы, возникающие под воздействием электрического поля в пьезоэлементах и опытном образце актюатора. Установлено, что при приложении к актюатору внешнего постоянного поля в нем возникают импульсные процессы. Можно выделить три типа импульсов, внешний вид которых показан на рис. 3.

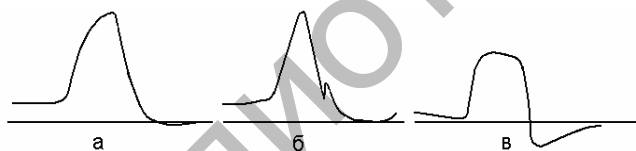


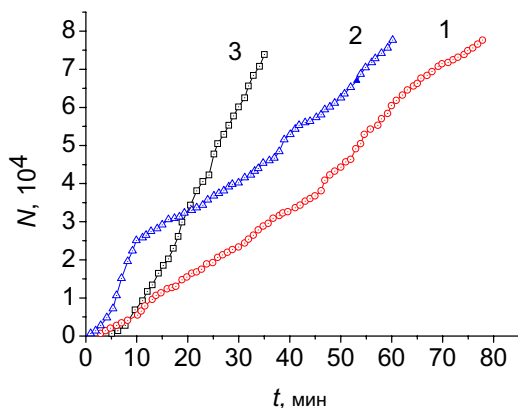
Рис. 3. Вид импульсов напряжения, вызванных в МКА приложением внешнего постоянного поля

Видно, что импульсы первого типа (а) имеют треугольную форму и параметры:  $A = 0,7$  мВ,  $\tau = 1,3$  мс,  $t = 0,4$  мс, где  $A$  – амплитуда импульса,  $\tau$  – его длительность,  $t$  – фронт нарастания. Второй тип импульсов (б) отличается фронтом нарастания  $t = 0,2$  мс, амплитуда и длительность импульсов существенно не отличаются от аналогичных для первого типа:  $A = 0,6$  мВ,  $\tau = 1$  мс.

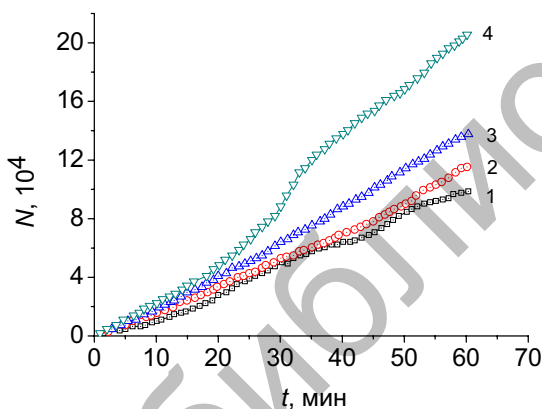
В пьезоэлементах преобладает тип импульсов (а). Импульсы различаются амплитудами и длительностями. В классических сегнетоэлектриках импульсы от скачков Баркгаузена имеют вид, близкий к первому типу и амплитуду, равную 0,7 мВ. Их длительность и фронт нарастания равны соответственно 1,3 мс и 0,4 мс. Третий тип импульсов (в) в классических сегнетоэлектриках практически не встречается.

Временные зависимости числа импульсов, возникающих в МКА под воздействием электрических полей, представлены на рис. 4 и 5.

Видно, что с увеличением времени выдержки актюатора под полем число импульсов нарастает практически линейно.



Р и с . 4. Временные зависимости числа импульсов, возникающих в МКА под воздействием слабых полей.  $E = 1,3$  (кривая 1),  $1,8$  (2) и  $3,6$  кВ·см<sup>-1</sup> (3)



Р и с . 5. Временные зависимости числа импульсов, возникающих в МКА под воздействием сильных электрических полей.  $E = 9$  (кривая 1),  $12,6$  (2),  $14,4$  (3) и  $18$  кВ·см<sup>-1</sup> (4)

При фиксированном значении времени с увеличением напряжённости поля число импульсов возрастает. На рис. 6 приведена полевая зависимость числа импульсов, возникающих в актюаторе при ступенчатом изменении поля.

Образец выдерживался на каждой ступени в течение примерно 5 минут. Видно, что с увеличением приложенного поля, число импульсов возрастает линейно. Известно, что в классических сегнетоэлектриках кривая поляризации выходит на насыщение. Область насыщения свидетельствует о монодоменизации образца.

В исследуемом интервале полей кривая  $N(E)$  для актюатора не имеет области насыщения. Это может быть связано с тем, что размеры актюатора изменяются практически прямо пропорционально приложенному полю, а возникающие при этом импульсы напряжения отражают не только эффект Баркгаузена, но и переходные процессы другой природы.

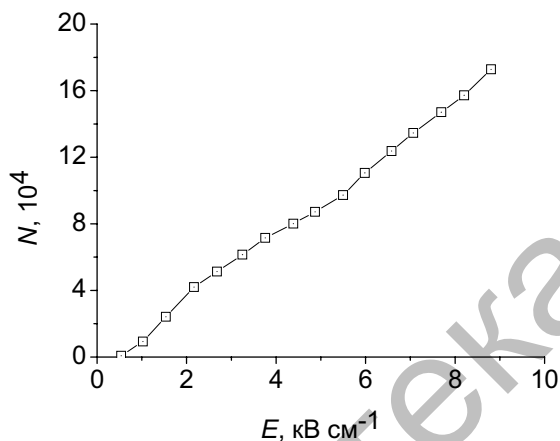


Рис. 6. Полевая зависимость числа импульсов, возникающих в МКА при ступенчатом изменении поля

**Заключение.** Синтезированная керамика ЦТС-46 имеет достаточно однородный состав и высокую степень поляризованности, о чем свидетельствуют практически одинаковые значения электрофизических характеристик для образцов соответствующих толщин.

Приложение к пьезоэлементам ЦТС-46 внешнего постоянного электрического поля вызывает процессы их поляризации. При ступенчатом увеличении и уменьшении полей в интервале от 0 до  $4 \text{кВ}\cdot\text{см}^{-1}$  зависимости числа скачков переключения от поля носят гистерезисный характер.

Приложение к МКА, изготовленному на основе сегнетоэлектрической керамики ЦТС-46, внешнего поляризующего поля  $E = 0,5 \text{кВ}\cdot\text{см}^{-1}$  вызывает появление импульсных процессов. Исследование топографии импульсов показывает, что в МКА возможно существование трёх типов импульсов, отличающихся длительностью, амплитудой и фронтом нарастания. В интервале полей от  $0,5$  до  $8 \text{кВ}\cdot\text{см}^{-1}$  при ступенчатом изменении внешнего приложенного поля число импульсов линейно возрастает.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

### **Список литературы**

1. Яффе Б., Кук У., Яффе Г. Пьезоэлектрическая керамика. М.: Мир. 1974.
2. Ерофеев А.А., Проклин А.И., Уланов В.Н. и др. Пьезоэлектроника. М. Радио и связь. 1994.
3. Мирошников П.В., Сегала А.Г., Сафронов А.Я., Никифоров В.Г., Чернов В.А. Пьезокерамический материал // Решение о выдаче патента на изобретение от 7.04.2006 по заявке 200510962(03(011604)).
4. Рудяк В.М. Процессы переключения в нелинейных кристаллах. М. Наука. 1986.
5. Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные материалы. М. Мир. 1981.

*Об авторах* – сотрудниках кафедры физики сегнетоэлектриков и пьезоэлектриков ТвГУ:

БОЛЬШАКОВА Наталья Николаевна – канд. физ.-мат. наук,  
доцент;

БЫХОВЕЦ Андрей Александрович – магистрант ТвГУ;

ИВАНОВ Владимир Васильевич – канд. физ.-мат. наук,  
профессор, заведующий кафедрой;

КАМЕНЩИКОВ Михаил Викторович – студент ТвГУ;

ЧЕРЕШНЕВА Надежда Никифоровна – ведущий инженер.