

Релаксационные процессы последействия в цирконате-титанате свинца

© Д.В. Кузенько^{1,2}, В.М. Ищук¹, А.И. Бажин², Н.А. Спиридонов¹

¹ НТЦ „Реактивэлектрон“ НАН Украины,
Донецк, Украина

² Донецкий национальный университет,
Донецк, Украина

E-mail: valerii.ishchuk@gmail.com

Рассмотрены релаксационные процессы в цирконате-титанате свинца после отключения воздействий различной физической природы. Предложена модель процесса, учитывающая частичную деполяризацию во время воздействий, образование заряженных F -центров при захвате выделившегося заряда и их релаксацию.

Сегнетоэлектрическая керамика находит широкое практическое применение в качестве индикаторов внешних воздействий любой природы. Актуальным является вопрос стабильности свойств пьезокерамических элементов после прекращения воздействий. Настоящая работа посвящена изучению свойств пьезокерамики на основе $Pb(Zr,Ti)O_3$ после воздействия на нее постоянного электрического поля, температуры, одноосного сжатия. Нами исследованы случаи, когда внешние воздействия не приводят к необратимым процессам: параметры пьезокерамики релаксируют к начальному состоянию.

Образцы подвергались внешним воздействиям в течение 10 min. Во всех случаях релаксация параметров после отключения внешних воздействий описывалась логарифмической функцией

$$\frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon_0} = -A \ln t + B \quad \text{или} \quad \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon_0} = -A \ln(t/\tau), \quad (1)$$

где $\varepsilon(t)$ — параметр образца, измеренный через промежуток времени t после прекращения воздействия (время старения), ε_0 — начальное значение параметра до включения внешних воздействий на образец, τ — время релаксации. В качестве измеряемых параметров выступали диэлектрическая проницаемость, резонансные частоты (и определяемые через них параметры).

Перечислим найденные особенности процессов релаксации в цирконате-титанате свинца (ЦТС), которые должны объясняться в рамках любой модели последействия.

1. После прекращения воздействий любой природы коэффициенты A и B (или A и τ) в (1) имели близкие значения, что указывает на наличие единого механизма последействия.

2. Изменения в образцах в одну сторону (в процессе воздействий) проходят быстро (времена воздействий во всех случаях 10 min), тогда как обратный процесс последействия является долговременным — 48 h и более.

3. После воздействий всех видов диэлектрическая проницаемость только возрастает, а в процессе релаксации — только снижается.

4. После отключения постоянного электрического поля, ориентированного по направлению поляризации об-

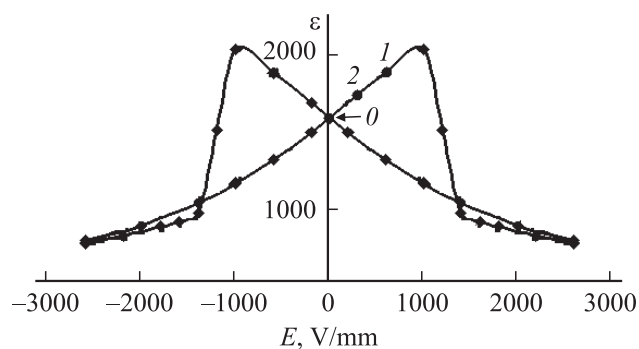
разцов (E_+) или против него (E_-), диэлектрическая проницаемость всегда повышается по сравнению со значением, которое было до включения поля, и в процессе релаксации снижается, тогда как поле E_+ (до его отключения) приводит к понижению проницаемости.

При всех указанных видах воздействия происходит частичная деполяризация образцов, на поверхности выделяется электрический заряд (пирозаряд). После снятия внешнего воздействия остаточная поляризация возвращается к исходному состоянию, происходит связывание большей части выделившегося ранее электрического заряда.

Вместе с отмеченным выше процессом происходит захватывание выделившегося заряда дефектами кристаллической решетки. Таковыми в ЦТС-керамике преимущественно являются положительно заряженные кислородные вакансии. Возникают возбужденные центры (F -центры), отделенные от основного состояния потенциальным барьером [1,2]. Высота барьера составляет от 0.5 до 1.5 eV. Местами наибольшей концентрации обсуждаемых дефектов являются поверхность образцов и неоднородности, главными из которых в керамических элементах являются границы зерен [3,4].

После закалки образцов начинается процесс релаксации заряженных вакансий (F -центров) к основному состоянию. Высвобождающийся в процессе релаксации заряд связывается электрическим полем остаточной поляризации. При указанных выше высотах потенциальных барьеров время, необходимое для восстановления исходного состояния, составляет от нескольких десятков до нескольких сотен часов. Именно такие времена релаксации мы наблюдали при внешних воздействиях различной природы. Мы провели также оценку высоты потенциального барьера, определяющего релаксационный процесс (1), исходя из результатов наших экспериментов. Получены значения в интервале 0.5–1.0 eV. Эти оценки подтверждают, что в качестве физического фактора, определяющего релаксацию, выступают вакансии кристаллической решетки.

Предложенная модель позволяет объяснить, почему во всех случаях последействия происходит уменьшение диэлектрической проницаемости. Выделившийся заряд



Петля диэлектрического гистерезиса.

приводит к появлению электрического поля. Происходит переход по гистерезисной петле из точки O в точку 1 (см. рисунок). После снятия воздействия большая часть выделившегося заряда связывается поляризацией, происходит быстрый переход по петле из точки 1 в точку 2 . Вследствие того что часть заряда связана вакансиями кристаллической решетки, образец подвержен воздействию внешнего электрического поля. Поэтому диэлектрическая проницаемость выше начального значения. И только при релаксации заряженных центров в начальное состояние это поле обращается в нуль, а проницаемость возвращается к начальному значению.

Список литературы

- [1] A. Stashans, S. Serrano, P. Medina. *Physica B*, **381**, 82 (2006).
- [2] E.A. Kotomin, R.I. Eglitis, G. Borstel. *Computational Mater. Sci.* **17**, 290 (2000).
- [3] А.Н. Павлов, И.П. Раевский, В.П. Сахненко. *ФТТ* **45**, 1875 (2003).
- [4] S. Gottschalk, H. Hahn, S. Flege, A.G. Balogh. *J. Appl. Phys.* **104**, 114 106 (2008).