

Влияние различных линейных скоростей изменения температуры на пирозлектрические коэффициенты в сегнетоэлектрических материалах

А.П. Буровихин, А.И. Дедык, А.А. Семёнов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в работе проведено исследование и сравнение температурных зависимостей пирозлектрических характеристик керамических конденсаторных структур на основе твёрдых растворов титанатов бария-стронция при различных скоростях изменения температуры. Используется методика измерения пироотклика конденсаторной структуры при её линейном нагреве. По результатам исследования выдвинуты предположения о причинах расхождения полученных экспериментальных температурных зависимостей пирозлектрических коэффициентов при различных скоростях изменения температуры.

Ключевые слова: пирозлектричество, пирокоэффициент, сегнетоэлектрик, сегнетокерамика, титанат бария-стронция.

1. Введение

Пирозлектрический эффект, проявляющийся в изменении спонтанной поляризации сегнетоэлектриков при изменении температуры, является основой для создания устройств преобразования тепловой энергии в электрическую [1]. Возникновение поверхностных зарядов при нестационарных тепловых режимах открывает перспективы применения таких материалов в пиросенсорах, энергосберегающих системах, электрокалорических охладителях и медицинской диагностике.

В работе изучены пирозлектрические свойства керамических структур на основе твёрдого раствора $\text{Ba}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{TiO}_3$. Данный состав выбран благодаря сочетанию относительно высокой температурной стабильности вблизи комнатной температуры (фазовый переход $\approx 80^\circ\text{C}$) и значительных пирозлектрических коэффициентов [2]. Это позволяет минимизировать температурные изменения параметров материала при сохранении высокой чувствительности к тепловым воздействиям. К преимуществам данного состава также относится и относительная простота изготовления, и повторяемость результатов.

2. Подготовка образцов и их параметры

Образцы керамики $\text{Ba}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{TiO}_3$ синтезированы с помощью стандартной керамической технологии при 1350°C в воздушной атмосфере [3]. После предварительного помола и гранулирования порошок прессовали в таблетки диаметром 10 мм. После спекания, таблетки подвергались шлифовке до толщины 0,4 мм. Для формирования электродов нанесена серебряно-палладиевая паста с последующим вжиганием при 800°C , обеспечившим адгезию и низкое контактное сопротивление.

Ключевые параметры образцов: толщина $h = 0,4$ мм; площадь электродов $S = 86$ мм²; температура фазового перехода (по максимуму диэлектрической проницаемости): $T_m = 78^\circ\text{C}$; диэлектрическая проницаемость при T_m : $\varepsilon = 11100$.

Для измерения пирозлектрического отклика использовалась методика нагрева с постоянной скоростью ($0,1\text{--}0,8^\circ\text{C}/\text{c}$) с регистрацией генерируемого заряда

посредством измерения напряжения (пироотклик) [4].

3. Заключение

По результатам измерений пирооткликов с разной скоростью нагрева, для образцов $\text{Ba}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{TiO}_3$ были рассчитаны температурные зависимости пироэлектрических коэффициентов. Для исключения вклада третичного пироэффекта, обусловленного неоднородностью теплового поля, проведено моделирование равномерности распределения температуры в образце. Результаты показали, что при скоростях нагрева до $0,8\text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ градиент температуры не превышает $0,05\%$, что делает вклад третичного эффекта пренебрежимо малым.

По результатам экспериментов получены следующие графики:

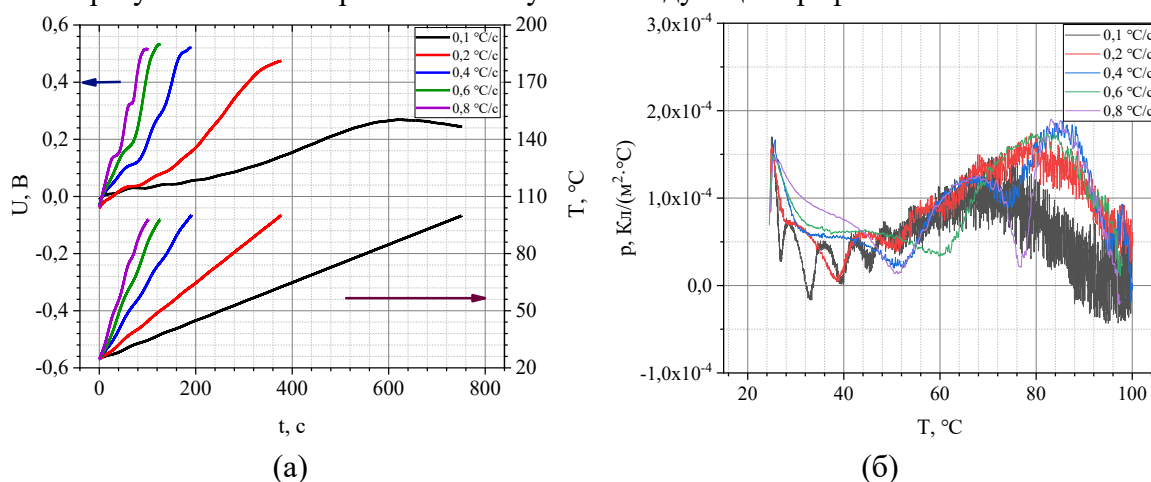


Рисунок 1. (а) графики временных зависимостей пирооткликов и температур для образцов $\text{Ba}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{TiO}_3$ при разных скоростях нагрева; (б) температурные зависимости пирокоэффициентов для образцов $\text{Ba}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{TiO}_3$ при разных скоростях нагрева.

По графикам видно, что при уменьшении скорости нагрева возрастает уровень шумов на графиках температурных зависимостей пирокоэффициентов. Это связано с тем, что чем медленнее скорость нагрева, тем меньший пироотклик за единицу времени мы получаем, а так как уровень паразитного электрического шума постоянен, то отношение сигнал/шум уменьшается, а значит, возрастает роль шумового сигнала. Также нестабильности к результатам добавляет то, что при нагреве образцов $\text{Ba}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{TiO}_3$ их сопротивление нелинейно уменьшается.

Установлено, что пироэлектрические коэффициенты для $\text{Ba}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{TiO}_3$ имеют выраженную зависимость от скорости температурного воздействия, особенно в диапазоне температур от $25\text{--}35\text{ }^\circ\text{C}$. При увеличении скорости нагрева, рассчитанный пирокоэффициент материала возрастает. Этот результат можно объяснить с помощью релаксационных процессов и токов утечки, которые при более медленных процессах сильнее проявляют себя и искажают результирующий сигнал. Таким образом, чтобы минимизировать данные паразитные явления, необходимо проводить измерения с достаточной скоростью, но также не слишком большой, так как могут проявиться эффекты, вызванные градиентом температур при быстрых скоростях нагрева.

Список литературы

1. Буш А. А. Пироэлектрический эффект и его применения. – 2005.
2. Liu Z. et al. Ferroelectric ceramics for pyroelectric detection applications: A review //IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. – 2020. – Т. 68. – №. 2. – С. 242-252.
3. Масленникова Г. Н. и др. Технология электрокерамики //М.: Энергия. – 1974.
4. Буровихин А. П. и др. Динамический метод измерения пирокоэффициентов сегнетоэлектрических конденсаторных структур //Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2021. – Т. 1. – С. 366-370.