

Пироэлектрические свойства керамических и плёночных конденсаторных структур на основе твёрдых растворов BST

А.П. Буровихин, Б.М. Джаппуева, А.И. Дедык, П.Ю. Белявский, А.В. Еськов, А.А. Семёнов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в работе проведено исследование пироэлектрических характеристик керамических и плёночных конденсаторных структур на основе твёрдых растворов титанатов бария-стронция. Использована методика измерения пироотклика конденсаторной структуры при воздействии непрерывного теплового потока. Сравнение характеристик керамических и плёночных конденсаторных структур позволили проанализировать причины расхождения пироэлектрических коэффициентов для объёмных и планарных структур, а также предложить способы их повышения.

Ключевые слова: сегнетоэлектрики, пироэлектричество, пирокоэффициент, пироэлектрический коэффициент, титанаты бария-стронция, сегнетокерамика, тонкие плёнки.

1. Введение

Пироэлектрический эффект в сегнетоэлектрических материалах представляет собой явление изменения поляризации материала при изменениях температуры [1]. Это явление способствует возникновению зарядов на электродах объёмных и планарных структур при изменении температуры материала, что открывает возможности для применений в различных технологиях и научных исследованиях.

Актуальность изучения пироэлектрического эффекта в сегнетоэлектрических материалах обусловлена перспективами их использования в пиродетекторах, датчиках дыма и газа, генераторах энергии, электрокалорических охладителях, а также в медицинских технологиях [1,2]. Этот эффект может играть определяющую роль при создании новых типов устройств в области электроники и оптики.

В работе проведено исследование и сравнение пироэлектрических характеристик керамических и плёночных конденсаторных структур на основе твёрдых растворов титанатов бария-стронция. Данный материал пироэлектрика является одним из наиболее перспективных и простых в изготовлении [2,3], что обуславливает его широкое использование. Однако, несмотря на то, что объёмная сегнетокерамика обладает хорошими пироэлектрическими свойствами, при изготовлении плёнок таких же составов, их пироэлектрические свойства оказываются хуже.

2. Подготовка образцов и их параметры

Объёмные сегнетоэлектрические образцы были получены по обычной керамической технологии [4] путём твердофазного синтеза с последующим спеканием под давлением в воздушной атмосфере при температуре 1350 – 1450 °С. Синтез осуществлялся в две стадии с промежуточным помолом и гранулированием образцов. Далее на полученные образцы наносились электроды из серебряно-палладиевой пасты с последующим её вжиганием при температуре 800 °С. Таким образом были изготовлены плоскопараллельные конденсаторы в виде «таблеток».

Плёночные сегнетоэлектрические образцы изготавливались из порошка того же состава, что и для керамических образцов с помощью магнетронного напыления с последующим отжигом в воздушной атмосфере. Далее, методом термического

испарения в вакууме наносились медные электроды с подслоем хрома. Для проведения измерений методом фотолитографии были получены планарные конденсаторы.

Для количественной оценки пирозлектрического эффекта использовалась методика измерения пиротклика образцов при подачи непрерывного теплового потока [5].

Параметры образцов и полученные результаты пирозлектрических свойств приведены в таблице 1, где: h – толщина образцов; s – площадь электродов; T_m – температура максимума ёмкости; ε – относительная диэлектрическая проницаемость.

Таблица 1. Параметры образцов

Состав	Обозначение	Вид	h , мкм	s , мм ²	T_m , °С	$\varepsilon(T_m)$
BaTiO ₃	BTO	Керамика	360	86	124	11200
Ba _{0,87} Sr _{0,13} TiO ₃	BSTO_0,87	Керамика	402	86	87	10200
Ba _{0,85} Sr _{0,15} TiO ₃	BSTO_0,85	Керамика	355	86	78	11100
Ba _{0,85} Sr _{0,15} TiO ₃	BSTO_0,85	Плѐнка	0,6	3,5	91	~400

3. Заключение

Лучшими диэлектрическими характеристиками, например, $\varepsilon(T_m)$ и $\varepsilon(T)$, которые определяют пирозлектрические свойства, обладают объѐмные керамические образцы. Пирокоэффициент керамических образцов в области фазовых переходов составляет $\sim 10^{-6} - 10^{-5}$ Кл/(м²·К), что на один два порядка больше, чем для плѐнок $\sim 10^{-8} - 10^{-7}$ Кл/(м²·К).

Было обнаружено, что для повышения значений пирокоэффициента (т. е. для повышения эффективности потенциально возможного пиродатчика из предложенных материалов) имеет смысл предварительно поляризовать пирозлектрический образец, который будет использоваться для детектирования теплового излучения. Эта процедура важна, как для керамических, так и для пленочных структур.

Использование внешнего электрического поля для создания индуцированной поляризации в керамических образцах, может увеличить пирокоэффициент на несколько порядков до $\sim 10^{-4}$ Кл/(м²·К), в то время как в плѐнках пирокоэффициент возрастает всего в несколько раз $\sim 10^{-7}$ Кл/(м²·К).

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (грант № FSEE-2022-0017).

Список литературы

1. Буш А. А. Пирозлектрический эффект и его применения. – 2005.
2. Mondal R. et al. Advanced pyroelectric materials for energy harvesting and sensing applications //Materials Today. – 2023.
3. 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.
4. Масленникова Г. Н. и др. Технология электрокерамики //М.: Энергия. – 1974.
5. Буровихин А. П. и др. Динамический метод измерения пирокоэффициентов сегнетоэлектрических конденсаторных структур //Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2021. – Т. 1. – С. 366-370.