

Исследование диэлектрического отклика керамических образцов титаната бария

П.А. Петрова, С.П. Зубко, Н.Ю. Медведева

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в данной работе исследуются диэлектрические свойства сегнетоэлектрической керамики титаната бария. Рассматривается влияние размеров зерен на диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь образцов, а также влияние температуры спекания керамики на размер зерен.

Ключевые слова: сегнетоэлектрик, керамика диэлектрические свойства

1. Введение

Сегнетоэлектрики зарекомендовали себя как наиболее перспективные материалы для создания устройств на электронном управлении. Однако, из-за того, что свойства сегнетоэлектрической керамики существенно зависят от размеров зерен, их конфигурации, чистоты образцов и многих других факторов, математические модели, позволяющие с высокой точностью описывать их свойства, имеют определенные границы применимости. В работе [1] было продемонстрировано, что для малых размеров зерен существование на их границах «мертвого» слоя оказывает существенное влияние на диэлектрические свойства сегнетоэлектрического образца. При этом, во многих работах показано, что температура спекания образцов существенно влияет на размер зерен керамики.

2. Результаты и обсуждение

Для того, чтобы с высокой точностью описать диэлектрическую проницаемость сегнетоэлектрической керамики с малым размером зерна, удобно использовать модель эффективной среды для учета влияния «мертвого слоя, подробно описанную в работе [1].

В данном исследовании использовалась модель эффективной диэлектрической проницаемости для сферической конфигурации зерен:

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_1 \frac{1 + \frac{d}{a} + 2 \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \frac{d}{a}}{1 + 2 \frac{d}{a} + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \frac{d}{a}} \quad (1)$$

где ε_1 – диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика внутри зерна; ε_2 – диэлектрическая проницаемость мертвого слоя (в расчете $\varepsilon_2 = 40$), d – толщина мертвого слоя (в расчете $d = 2$ нм), a – радиус зерна.

Интерес для исследования представляет определение граничной величины размера зерна, при которой использование данной модели целесообразно.

На рисунке 1 представлены температурные зависимости эффективной диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрической керамики с размером зерна 1 мкм, рассчитанная по модели (1), и диэлектрической проницаемости однородного сегнетоэлектрического образца.

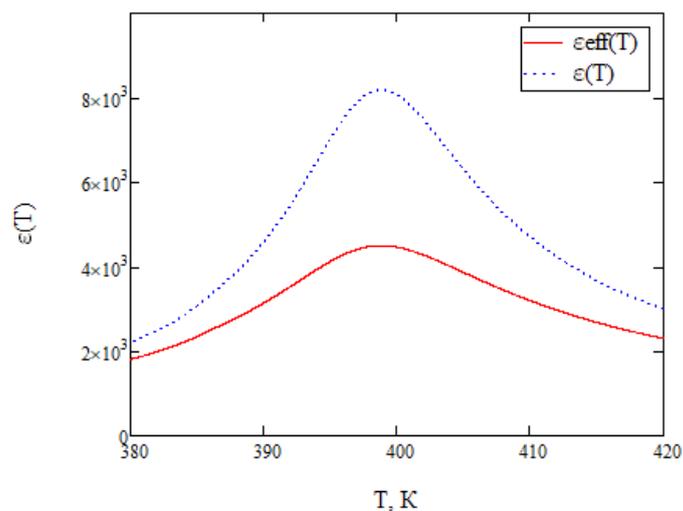


Рисунок 1. Зависимость диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика с размеров зерна 1 мкм, $\epsilon_{\text{eff}}(T)$ – эффективная диэлектрическая проницаемость; $\epsilon(T)$ – диэлектрическая проницаемость однородного сегнетоэлектрика.

Рисунок 1 наглядно демонстрирует, насколько существенно влияние «мертвого» слоя на диэлектрическую проницаемость при размере зерна, составляющем 1 мкм. В результате дальнейшего анализа было выявлено, что использование модели эффективной диэлектрической проницаемости необходимо при размере зерна менее, чем 30 мкм. Уже при размере зерна 30 мкм установлено, что различие между классической и эффективной диэлектрической проницаемостью при температуре фазового перехода составляет не более 2 %. При этом, отмечается, что наиболее существенно влияние «мертвого» слоя для размеров зерен менее 20 мкм.

На рисунке 2 представлена зависимость размера зерна от температуры спекания керамики.

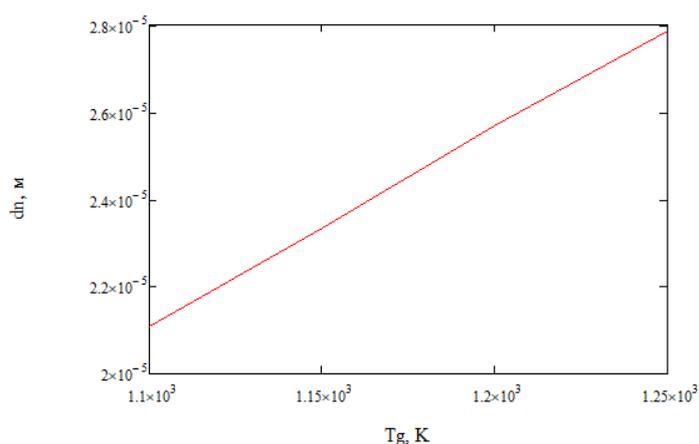


Рисунок 2. Зависимость размера зерна от температуры спекания титаната бария.

Рисунок 2 свидетельствует о том, что с увеличением температуры спекания размер зерна также растет.

На рисунках 3 и 4 изображены зависимости эффективной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь сегнетоэлектрической

керамики от размера зерна. Данные зависимости хорошо совпадают с экспериментальными данными [2].

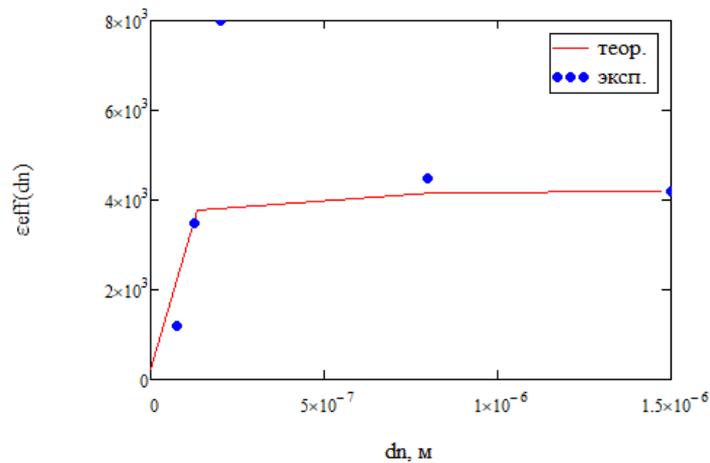


Рисунок 3. Зависимость эффективной диэлектрической проницаемости BaTiO₃ от размера зерна.

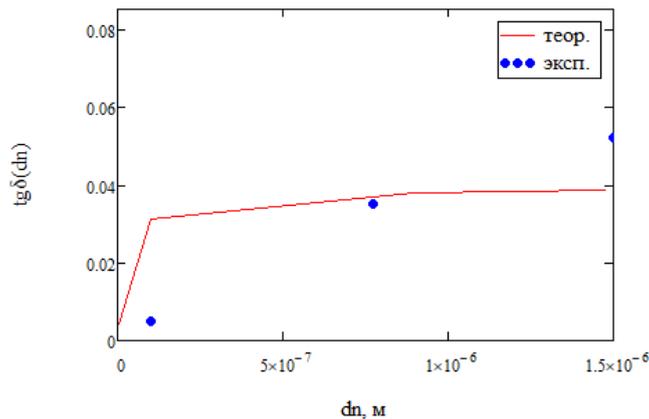


Рисунок 4. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь BaTiO₃ от размера зерна.

Для построения теоретических зависимостей на рисунках 3 и 4 использовалась модель эффективной диэлектрической проницаемости для сферических зерен. Из анализа графиков можно заключить, что данная модель эффективна для использования при рассматриваемых размерах зерен.

Данную модель можно распространить также на сегнетоэлектрические поликристаллические пленки и композитные материалы с сегнетоэлектрическими включениями [3].

3. Заключение

При моделировании свойств сегнетоэлектриков необходимо помнить о существенном влиянии размеров зерен на свойства сегнетоэлектрических образцов. Для более точного моделирования температурных характеристик сегнетокерамики рекомендуется учитывать рассмотренные в данной работе теоретические положения.

Список литературы

1. Н.Ю. Медведева. Моделирование диэлектрических свойств наноструктурированных сегнетоэлектрических композитов в СВЧ диапазоне: дис. канд. физико-математических наук: 01.04.03 / Н.Ю. Медведева - СПб., 2009. 123 с.
2. Curecheriu, L. Grain Size Effect on the Nonlinear Dielectric Properties of Barium Titanate Ceramics/ L. Curecheriu [et. al.] // Applied Physics Letters. – 2011. – Vol. 97. – P. 77.
3. Петрова, П. А. Исследование конденсаторных структур на основе наноструктурированных сегнетоэлектрических пленок / П. А. Петрова, В. С. Орлов, С. П. Зубко // 78-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио: сб. докладов / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Санкт-Петербург. 2023. 472-474 с.