

В.А. Вольпяс¹, Р.А. Платонов¹, А. Беренов², А.Б. Козырев¹

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

²Imperial College London, United Kingdom

Электрофизические характеристики сегнетоэлектрической керамики состава $Ba_xSr_{1-x}Ca_yTiO_3$

Экспериментально исследованы температурные характеристики структур металл – диэлектрик – металл на основе сегнетоэлектрической керамики $Ba_xSr_{1-x}Ca_yTiO_3$ при различных значениях напряженности электрического поля. Исследования проводились с целью изучения их взаимного воздействия на диэлектрические свойства. Результаты измерения показали, что исследуемая керамика обладает достаточно высокими значениями диэлектрической проницаемости и управляемости. Рассмотрена корреляция между тепловым воздействием и управляемостью сегнетоэлектрических конденсаторов. На основе анализа температурных характеристик при различных значениях приложенного напряжения показано, что увеличение значения приложенного напряжения приводит к значительному размытию температурной зависимости диэлектрической проницаемости вблизи фазового перехода сегнетоэлектрических конденсаторов на основе исследуемой керамики.

Ключевые слова: сегнетоэлектрическая керамика, BSCTO

Полупроводниковые и ферритовые устройства, используемые в настоящее время в сверхвысокочастотных (СВЧ) системах, обладают рядом существенных недостатков: большие токи в цепях управления и малое быстродействие ферритовых устройств; большие СВЧ-потери на частотах свыше 10 ГГц и малые рабочие мощности полупроводниковых приборов. Для создания СВЧ-устройств, свободных от вышеперечисленных недостатков, представляется перспективным использование сегнетоэлектрических (СЭ) керамических материалов [1]. СЭ-материалы обладают аномально высокой нелинейностью диэлектрических свойств (зависимостью диэлектрической проницаемости от напряженности приложенного электрического поля), что делает их привлекательным для использования в СВЧ-электронике. Преимуществами сегнетоэлектриков являются малые СВЧ-потери, высокие рабочие мощности и высокая радиационная стойкость. При этом стоимость СЭ-устройств на порядок меньше по сравнению с полупроводниковым и ферритовыми аналогами.

Сегнетоэлектрическая керамика состава $(Ba,Sr)TiO_3$ (BSTO) с различными добавками не сегнетоэлектрических материалов может быть использована в качестве основы для проектирования СВЧ устройств управляемых постоянным электрическим полем, например модуляторов, фильтров, фазовращателей [1-3].

В последнее время наблюдается рост интереса к $CaTiO_3$, который принято считать виртуальным сегнетоэлектриком [4] наряду с такими материалами как $SrTiO_3$ и $KTaO_3$. Известно, что $CaTiO_3$ обладает относительно низким значением тангенса диэлектрических потерь и высокой диэлектрической проницаемостью в СВЧ диапазоне [5]. Эти качества позволяют использовать керамику на основе $CaTiO_3$ в качестве материала для резонаторов, фильтров и радаров [6].

Существует ряд работ [7,8] посвященных свойствам керамик из твердых растворов $(\text{Ba,Ca})\text{TiO}_3$, при этом влияние добавки Ca в растворе $(\text{Ba,Ca})\text{TiO}_3$ сказывается в значительном понижении тангенса диэлектрических потерь без существенного изменения температуры Кюри, что открывает для этого материала перспективы использования в СВЧ электронике. Однако, насколько известно авторам данного доклада, существует только одна работа посвященная изучению свойств керамики на основе твёрдого раствора $(\text{Ba,Sr,Ca})\text{TiO}_3$ [9]. При этом авторы ограничились рассмотрением составов $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})_{0.77}\text{Ca}_{0.23}\text{TiO}_3$ с $x = 1$ до 0.7. Сравнительный анализ составов $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})_{0.77}\text{Ca}_{0.23}\text{TiO}_3$ и $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ показал незначительное влияние кальция на смещение температуры Кюри. Стоит отметить, что резкий характер приведенных в работе [9] зависимостей диэлектрической проницаемости от температуры вблизи точки фазового перехода открывает вопрос о применении данных составов в термоэлектрических преобразователях [10,11], но отсутствие данных о влиянии внешнего электрического поля на характер температурной зависимости не позволяет оценить эффективность преобразования.

В данной работе приведены результаты температурных измерений (см. рис. 1 и рис. 2) емкости сэндвич конденсаторов на основе сегнетоэлектрической керамики состава $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_y\text{TiO}_3$ при различных значениях электрического поля. В таблице 1 приведены основные параметры сегнетоэлектрических конденсаторов.

Таблица 1

	Состав	
	$\text{Ba}_{0.607}\text{Sr}_{0.202}\text{Ca}_{0.198}\text{TiO}_3$	$\text{Ba}_{0.623}\text{Sr}_{0.277}\text{Ca}_{0.1}\text{TiO}_3$
T_c, C	49.9	36.86
$C(U=0 \text{ В}, T_{\text{room}}), \text{pF}$	372	548
$\varepsilon(E = 0 \text{ В/м}; T_{\text{room}})$	1400	2100
$\text{tg}\delta (1 \text{ MHz})$	0.013	0.019

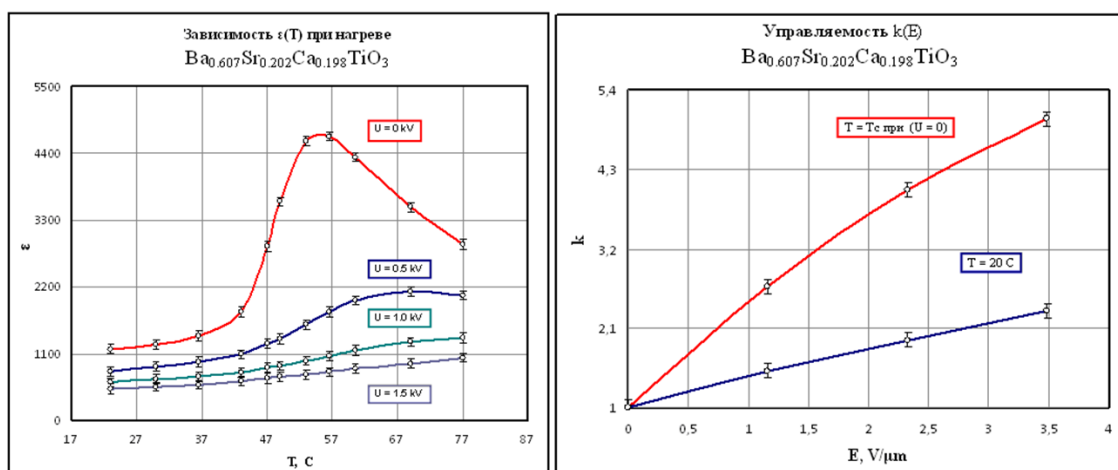


Рисунок 1.

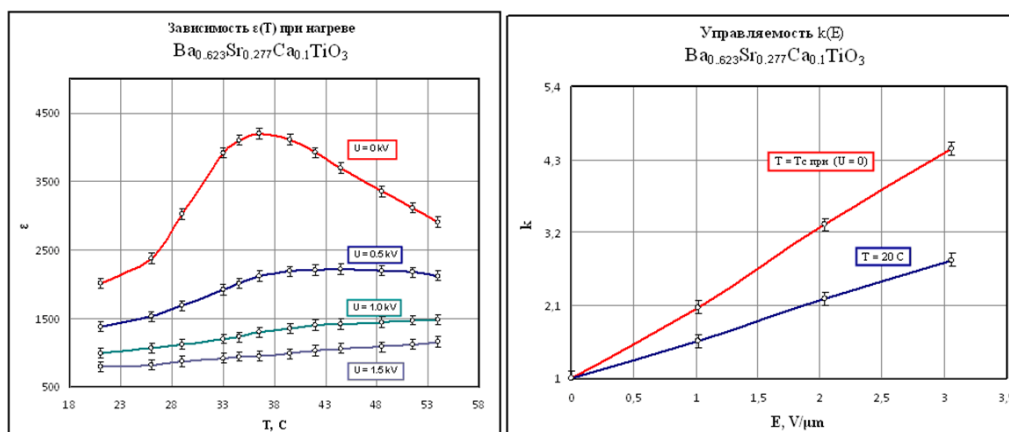


Рисунок 2.

Анализ влияния величины приложенного электрического поля на характер температурной зависимости диэлектрической проницаемости позволяет заключить нецелесообразность использования приведенных составов в качестве основы для термоэлектрических преобразователей в виду их малой эффективности (по оценкам не более 0,1%).

При этом исследованные образцы, при комнатной температуре, демонстрируют управляемость не более 3, что в совокупности с достаточно высокими значениями ВЧ потерь, делают сомнительными перспективы использования данных составов в СВЧ электронике, однако категорическое заключение можно сделать только при наличии данных об измерении СВЧ потерь.

Библиографический список

1. Вербицкая Т.Н. Вариконды / Т.Н. Вербицкая // - Москва-Ленинград: Госэнергоиздат. – 1958. – С.62.
2. Вендик О.Г. Сегнетоэлектрики в технике СВЧ /О.Г. Вендик // - Москва: Советское радио. – 1979. – С. 272.
3. Chang W. and Sengupta L. C. MgO-mixed $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ bulk ceramics and thin films for tunable microwave applications / J Appl. Phys., - 2002. – Vol. 92. -№7. – p. 3941–3946.
4. Perovskite CaTiO_3 as an incipient ferroelectric / V.V. Lemanova, A.V. Sotnikova, E.P. Smirnovaa, M. Weihnacht, R. Kunze // Solid State Communications, - 1999. – Vol. 110. - №11. –p. 611–614.
5. High frequency dielectric properties of CaTiO_3 -based microwave ceramics / A. Pashkin, S. Kamba, M. Berta, J. Petzelt, et al. // Journal of Physics D: Applied Physics, - 2005. – Vol.38. - №5. – p. 741–748.
6. Yuan-Bin Chen. Improved high Q value of MgTiO_3 - CaTiO_3 microwave dielectric resonator using WO_3 -doped at lower sintering temperature for microwave applications // Journal of Alloys and Compounds, - 2009. – Vol. 478. - №1-2. – p. 657–660.
7. Sonia, R.K. Patel, C. Prakash and P. Kumar / Effect of microwave processing on structural, dielectric and ferroelectric properties of calcium-doped BaTiO_3 ceramics // Journal of Ceramic Processing Research, -2011. - Vol. 12. - №6. - p. 634-639.
8. S. Suzuki, T. Takeda, A. Ando, and H. Takagi / Ferroelectric phase transition in Sn^{2+} ions doped $(\text{Ba,Ca})\text{TiO}_3$ ceramics // Appl. Phys. Lett, -2010. – Vol. 96. - №13. – p. 132903.
9. X. Cheng and M. Shen / Enhanced spontaneous polarization in Sr and Ca co-doped BaTiO_3 ceramics // Solid State Communications, - 2007. – Vol. 141. - №11. –p. 587–590.
10. В.А. Вольпяс, А.Б. Козырев, О.И. Солдатенков и Е.Р. Тепина / Эффективность термоэлектрического преобразования в емкостных структурах на основе сегнетоэлектрических пленок // ЖТФ, - 2012. – Т. 82. - №6. С. 58-62.
11. A. B. Kozyrev, R. A. Platonov and O. I. Soldatenkov / Thermal-to-electric energy conversion using ferroelectric film capacitors // J. Appl. Phys., - 2014. - Vol. 116. - №16. – p. 164111