

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**И. Н. Чебурахин, С. Р. Таишев, В. В. Кикот,
В. С. Волков, А. В. Зверовщиков**

АО «Научно-исследовательский институт физических измерений», г. Пенза, Россия

Анализ приведенных в [1–3] результатов аналитических исследований показал, что для пьезокерамических элементов, которые изготавливаются для эксплуатации в составе пьезоэлектрических датчиков при температурах до 300 °С, актуальна проблема стабилизации электрофизических параметров, так как температурные характеристики пьезоэлектрических датчиков определяются аналогичными характеристиками используемых пьезоэлементов [1].

Часто повышение стабильности температурных характеристик пьезоэлектрических материалов при изготовлении осуществляется регулировкой технологических режимов, например использованием горячего прессования, изменением температурных режимов синтеза и спекания, увеличением активности материала к спеканию путём добавления поверхностно-активных веществ при его измельчении и др.

Меньше всего изменение температуры влияет на пьезочувствительность пьезоэлектрического материала ЦТСБ, для которого изменение пьезочувствительности d_{33} не превышает ± 20 %. Для материала ЦТС-83Г изменение пьезочувствительности d_{33} составляет более ± 30 %. Температурная стабильность характеристик пьезоэлементов из материала ЦТС-83Г к температуре остаётся достаточно высокой по сравнению с материалами ТВ-2, ТВ-3, ТВ-4 [4].

Пьезочувствительность d_{33} пьезоэлементов из материалов ТВ-2, ТВ-3, ТВ-4 меньше зависит от изменений температуры рабочей среды, чем у пьезоэлементов из материалов ЦТС-83Г, ЦТСБ, так как её отклонение от значения при 25 °С не превышает ± 10 %. Но пьезочувствительность пьезоэлементов из материалов ТВ-2, ТВ-3, ТВ-4 не превышает 17 пКл/Н [4].

Исследования показали, что для пьезоэлементов из материала ЦТС-83Г характерно понижение d_{33} на 20–30 % и повышение электрической ёмкости C_0 на 15–20 % в течение первого месяца после изготовления. Проведение термостабилизации заметно снижает временную нестабильность параметров. Для многих пьезоэлементов нормируется отклонение параметров в течение срока службы пьезоэлемента. Так, например, в течение первого года эксплуатации отклонение должно быть не более 10 %, а в последующие годы не более 5 % [4]. Для снижения температурной погрешности измерения датчиков с пьезоэлементами из материала ЦТС-83Г от температурной зависимости электрофизических параметров данных пьезоэлементов широко применяются схемно-технические способы коррекции [1, 4].

Вследствие того, что пьезоэлектрические датчики в процессе эксплуатации многократно подвергаются температурным воздействиям, проведены исследования устойчивости поляризованного состояния к циклическому воздействию температуры. Термическая устойчивость исследовалась при нагреве и охлаждении образцов из материалов ЦТС-19 и ЦТСБ в режиме холостого хода и короткого замыкания в интервале температур от 20 до 250 °С по изменению величины пьезочувствительности d_{33} .

На рис. 1а, 1б приведены результаты исследований по определению зависимости относительной располяризации от количества температурных циклов в режимах холостого хода и короткого замыкания.

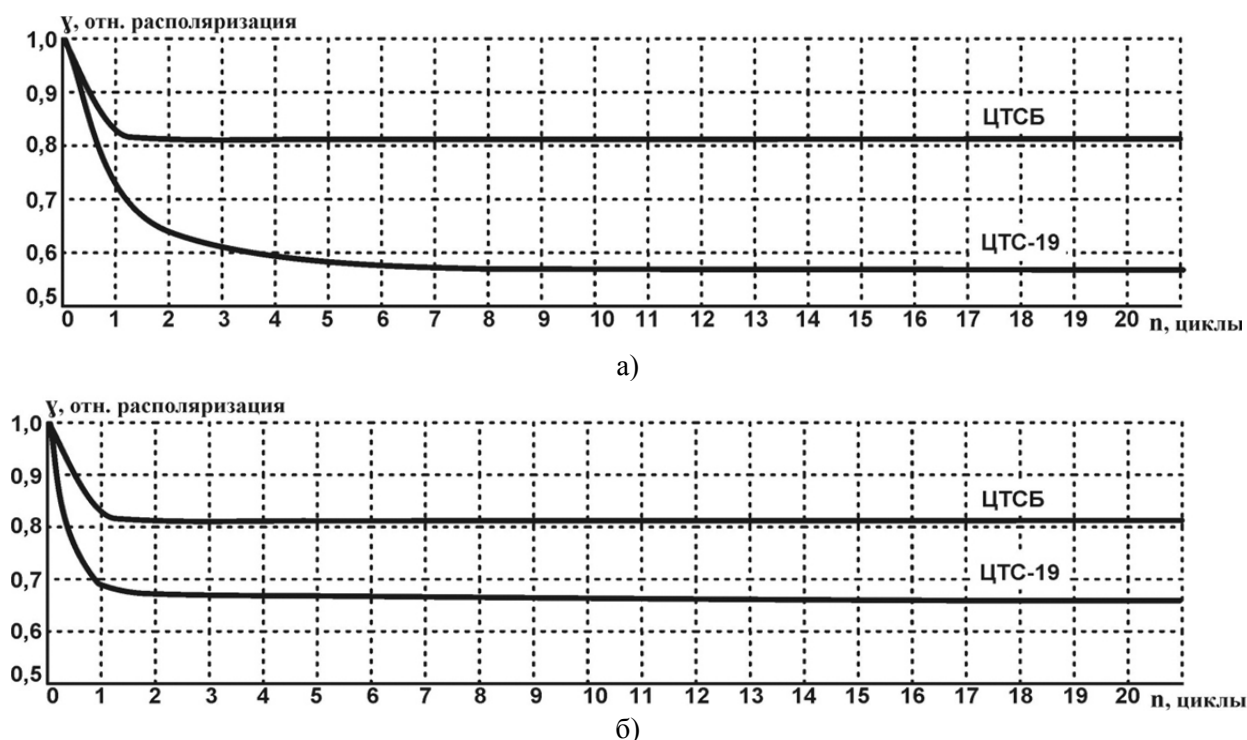


Рис. 1. Зависимость относительной располяризации от количества температурных циклов:
а – в режиме холостого хода; б – в режиме короткого замыкания

Продолжительность нагрева образцов составляла 1 мин, а охлаждения – 2 мин. Пьезочувствительность образцов измерялась при температуре $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$ до и после циклических изменений температуры. По экспериментальным данным относительная располяризация пьезоэлементов рассчитана по формуле:

$$\gamma = \frac{d_{33}^{\kappa}}{d_{33}^{\eta}},$$

где d_{33}^{κ} , d_{33}^{η} – пьезочувствительность до и после температурного воздействия соответственно.

Анализ результатов исследований (рис. 1а и 1б) показал, что характер кривых примерно одинаков для двух режимов воздействия, что связано, вероятно, с высокой проводимостью материалов ЦТСБ и ЦТС-83Г при высоких температурах. Наибольшая располяризация наблюдается после воздействия одного цикла температуры. Стабильность достигается для всех составов после десятикратного воздействия.

В ходе работы подтверждена эффективность использования искусственного старения при изготовлении пьезокерамических элементов для повышения стабильности пьезочувствительности.

Библиографический список

1. Богуш, М. В. Проектирование пьезоэлектрических датчиков на основе пространственных электротермоупругих моделей / М. В. Богуш ; под ред. А. Е. Панича. – М. : Техносфера, 2014. – 312 с.

2. Плетнев, П. М. Старение пьезокерамики системы ЦТС при одновременном воздействии механических и электрических напряжений / П. М. Плетнев, В. А. Ланин, И. И. Рогов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2005. – № 9. – С. 13–19.
3. Piezoelectric Transducers and Applications. Second Edition. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – Vol. Ed. Antonio Arnau Vives.
4. Кикот, В. В. Исследование электрофизических параметров пьезоэлементов датчиков динамического давления / В. В. Кикот, В. П. Маланин, В. Г. Андреев // Приборы. – 2016. – № 1. – С. 52–55.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

С. Р. Таишев, В. Г. Андреев, И. Н. Чебурахин

АО «Научно-исследовательский институт физических измерений», г. Пенза, Россия

В настоящее время выделяют шесть основных составов пьезокерамик, которые используются в различных областях пьезотехники:

1. Титанат бария BaTiO_3 (ТБ). Один из первых пьезокерамических материалов (ПКМ).

2. Цирконат-титанат свинца (ЦТС). В зависимости от состава модификаторов свойства материала изменяются в широких пределах, поэтому ЦТС рассматривается как материал общего применения.

3. Метаниобат свинца. Характеризуется средними значениями продольного пьезомодуля, низкой механической добротностью и практически подавленной поперечной пьезоактивностью, но высокой чувствительностью и значительным объемным пьезоэффектом, поэтому применяется в ультразвуковых приборах неразрушающего контроля и медицинской диагностики, датчиках гидростатического давления, акселерометрах, ВЧ-фильтрах.

4. Титанат свинца. То же, что в отношении метаниобата свинца, кроме того, используется в фильтрах на поверхностных акустических волнах. Эта группа материалов успешно вытесняет метаниобат свинца благодаря дешевизне и возможности более широкого изменения свойств при модифицировании.

5. Висмутсодержащие слоистые перовскитоподобные соединения. Характеризуются высокими рабочими температурами. Используются в высокотемпературных датчиках давления.

К числу наиболее эффективных относятся ПКМ системы ЦТС, представляющие собой твердые растворы цирконата свинца – PbZrO_3 и титаната свинца – PbTiO_3 .

Пьезоэлектрические свойства системы ЦТС в значительной мере зависят от величины соотношения Zr/Ti в твердом растворе и достигают максимальных величин, когда это соотношение соответствует составу морфотропной фазовой границы. Соотношение Zr/Ti , оптимальное для возникновения фазовой границы в твердом растворе, зависит от способа приготовления порошка и от условий получения керамики. Твердые растворы си-