

Междунар. науч. конф. молодых ученых, г. Минск, 21-24 апреля, 2009г.-Минск: Беларуская навука, 2010.-Ч.3.- С. 295-300.

2. Животная клетка в культуре (Методы и применение в биотехнологии)/Под. ред. проф. Дьяконова Л.И., проф. Ситькова В.И. -М.: Компания Спутник+, 2000.-400 с.

3. Сюрин, В.Н. Методы лабораторной диагностики вирусных болезней животных/ В.Н. Сюрин [и др.]-М.: Агропромиздат, 1986.-351 с.

УДК 621.316.99+621.319.1

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПТКС-ТЕРМОРЕЗИСТОРАХ, ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ ИХ ФОРМЫ

Гаврилов А. В.

ГНУ«Институт технической акустики НАН Беларуси», г. Витебск

Введение. В электротехнике и радиоэлектронике широко применяются терморезисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТКС) на основе керамики титаната бария, легированной редкоземельными элементами (ПТКС-терморезисторы (позисторы) используются в силовых цепях в качестве нагревательных, пусковых элементов, в схемах защиты и др.) [1]. При этом, в результате воздействий больших токовых нагрузок, терморезисторы могут разрушаться (наблюдается эффект «расслоения») [2]. Причина данного явления заключается в возникновении значительных температурных напряжений 50-80 МПа [3], что соизмеримо с пределом прочности полупроводниковой керамики на основе титаната бария 50-100 МПа [4]. Поэтому важной задачей является повышение устойчивости позисторов к тепловому удару в процессе нагрева электрическим током. При этом решение данной проблемы путем улучшения механических (прочностных) свойств керамики $BaTiO_3$ без влияния на её электрические характеристики является трудно выполнимой задачей. Другим способом решения данной задачи является коррекция тепловых полей и снижения термоупругих напряжений в ПТКС терморезисторах. Данный способ может быть реализован путем коррекции формы терморезистора или конфигурации электродов.

Теоретическая модель. Распределение температуры в позисторных элементах рассчитывалось путем совместного решения уравнений теплопроводности и электропроводности [10]. Коэффициент теплоотдачи поверхности принимался равным $50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, температура окружающей среды $25 \text{ }^\circ\text{C}$, приложенное электрическое напряжение 220 В. Для расчетов температурных напряжений решалась квазистатическая задача термоупругости [3]. Удельное сопротивление позисторной керамики ρ зависит от состава материала, технологических режимов его изготовления, температуры образца и напряженности электрического поля E (варисторный эффект) [1]. Зависимости удельного сопротивления от температуры и напряженности электрического поля были получены экспериментально (рис. 1). Учитывая симметрию позисторных элементов цилиндрической формы (рис. 2), решение задачи находилось в координатах z , т. е. (случай осевой симметрии) причем, только для положительных значений координаты z , поскольку результаты для отрицательных значений z могут быть получены зеркальным отражением (для сечения $OMAB$ рис. 2 и 3). Расчеты были проведены на основании исследований защитных терморезисторов, производства ОАО «Витебский завод радиодеталей «МОНОЛИТ»» (температура переключения $T_c = 87^\circ\text{C}$, удельное сопротивление при 25°C $\rho_{25} = 0.31 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Полученные данные аппроксимировались математическими выражениями.

Позисторы, как правило, являются элементами защиты от перегрузок по току и мощности, которые включаются в электрические схемы последовательно с некоторым нагрузочным сопротивлением R_d . При этом добавочное сопротивление способствует

увеличению температурных напряжений [3]. В настоящей работе рассматривался случай воздействия напряжения 220 В на электрическую цепь, состоящую из терморезистора, последовательно соединенного с балластным сопротивлением R_d . При расчетах значение R_d принималось равным 90 Ом и 120 Ом, (при этом ток в цепи ограничивался до 2 А и 1.5 А). При указанных значениях балластного сопротивления достигаются максимальные растягивающие напряжения в классическом варианте исполнения ПТКС-термисторов [3].

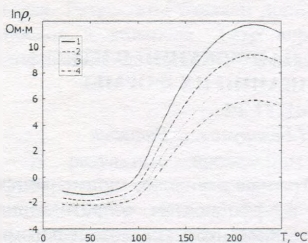


Рис. 1. Температурная зависимость удельного сопротивления позисторной керамики:

1 – $E = 0$ В/мм; 2 – $E = 100$ В/мм;
3 – $E = 200$ В/мм; 4 – $E = 300$ В/мм.

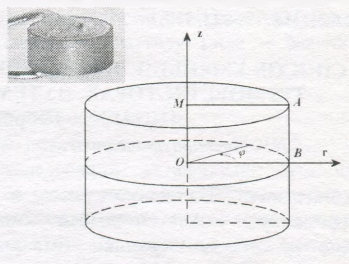


Рис. 2. Фотография и схематичное изображение терморезистора.

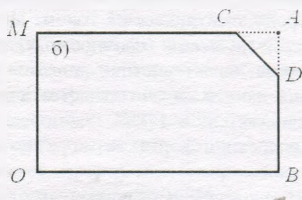


Рис. 3. Вид сечения терморезистора.

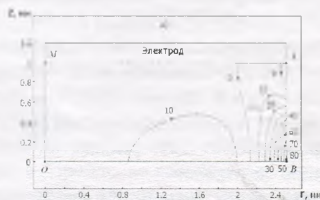


Рис. 4. Распределение температурных напряжений τ_z в терморезисторе классической формы в момент времени $t = 0.195$ с после приложения напряжения

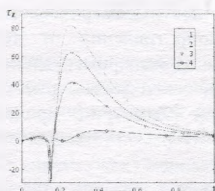


Рис. 5. Зависимость величины температурных напряжений τ_z от времени в центре боковой поверхности терморезистора (при $R_d = 120$ Ом): 1 – для терморезистора классической (цилиндрической) формы, 2 – для терморезистора модифицированной формы с $h = 150$ мкм, 3 – $h = 200$ мкм, 4 – $h = 250$ мкм. τ_z , МПа; t , с.

Результаты и их обсуждение. Вид сечения позисторов, исследованных в

настоящей работе, приведены на рис. 3. В классическом случае сечение терморезистора имеет прямоугольную форму ($OМAB$), а точка C совпадает с точкой A (рис. 2). Рассмотрим случай модифицированного позистора для которого введем обозначение $h = AC = AD$. На рис. 4. приведено распределение температурных напряжений для классического терморезистора в момент времени, когда достигаются максимальные растягивающие напряжения (для компоненты тензора напряжений τ_x). Видно, что максимум температурных напряжений достигается в точке B боковой поверхности. При этом процесс нагрева происходит следующим образом. В начальный момент времени происходит быстрый разогрев позистора. Так как температура центральной области превышает температуру на границах, переключение в центре происходит раньше. Экспоненциальная зависимость сопротивления от температуры способствует максимальной теплогенерации в центре элемента, при этом имеет место интенсивный отток тепла из керамики в электрод, что обуславливает формирование высокого температурного градиента ($\Delta T \sim 75$ °C). В дальнейшем, с ростом сопротивления керамики, генерируемая мощность уменьшается, электрод прогревается, и температурное поле по толщине терморезистора выравнивается.

В модифицированном варианте терморезистора за счет изменения формы и площади электродов позистора в приэлектродных областях плотность электрического тока выше. Следовательно, теплогенерация в приэлектродных областях увеличивается, что уменьшает перепада температур по толщине позистора (более чем на 10 °C). Это приводит к снижению напряжений. На рис. 5 приведены изменения напряжений τ_x в центре боковой поверхности (точка B) от параметра h . Скачок напряжений при $t \sim 150$ мс связан с изменением знака коэффициента теплового расширения титаната бария при фазовом переходе. Величина максимальных растягивающих напряжений начинает заметно уменьшаться уже при $h > 100$ мкм по сравнению с терморезисторами стандартной формы, и при $h = 200$ мкм уменьшается до 41 МПа (в 2 раза) по сравнению с терморезисторами стандартной формы и не превышает предела прочности керамики указанного типа. Однако при дальнейшем увеличении h (> 250 мкм) меняется характер переключения позистора, что отрицательно сказывается на работе терморезистора.

В другом более простом случае модификации, когда $h = AC$, $AD = 0$ (прямоугольное сечение) максимальные напряжения τ_x в точке B так же снижаются, но в меньшей степени (при $h = 200$ мкм на 20%). Однако реализация данного метода на практике не требует модификации производства терморезисторов.

Заключение. Численными методами изучены температурные напряжения в ПТКС-термисторах на основе полупроводниковой керамики титаната бария при воздействии токовых нагрузок. Показано, что путем изменения формы терморезисторов (снятия острой кромки керамических элементов) можно осуществлять изменения температурного рельефа, добиваться значительного снижения температурных напряжений (до двух раз) и повышения устойчивости к электрическим нагрузкам по сравнению с терморезисторами классической формы.

Список литературы

1. Шефтель, Н. Т. Терморезисторы / И.Т. Шефтель. – М.: «Наука», 1973. .
2. Dewitte, C. On the mechanism of delamination fracture of BaTiO₃-based PTC thermistors / C. Dewitte, R. Elst, F. Delannay // J. European Ceramic Society. – 1994. – Vol. 14. – P. 481–492.
3. Шут В. Н., Гаврилов А. В. Температурные напряжения в неоднородных терморезисторах на основе титаната бария // ИФЖ. 2009. Т. 82. № 5. С. 981–983
4. Freiman S. W., Pohanka R. C. Review of Mechanically Related Failures of Ceramic Capacitors and Capacitor Materials// J. Am. Ceram. Soc. 1989. Vol. 72. № 12. Pp. 2258-2263.