

$J_x = J_y = J_z$ должны удовлетворять условию $J_x + J_y = J_z$

Подставляя значения, получаем

$$\frac{\pi \delta a b^3}{4} + \frac{\pi \delta a^3 b}{4} = \frac{\pi \delta a b}{4} (a^2 + b^2).$$

Список использованных источников

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов.- М.: Наука, 1981.

УДК 536.21+621.319.1

РАЗРУШЕНИЕ ПТКС-ТЕРМИСТОРОВ ПО МЕХАНИЗМУ «РАССЛОЕНИЯ»

В.Н. Шут, А.В. Гаврилов

Полупроводниковая керамика на основе титаната бария обладает свойством аномального увеличения удельного сопротивления выше температуры Кюри (T_c) (рис.1). Это явление известно как положительный температурный коэффициент сопротивления (ПТКС). Согласно модели Хейванга, данный эффект связан с формированием барьерных слоев на границах зерен выше температуры Кюри [1]. Термисторы ПТКС-типа (позисторы), на основе полупроводниковой керамики титаната бария широко применяются в качестве устройств защиты, нагревательных элементов, температурных датчиков [2]. В случае воздействия больших токовых нагрузок возможно механическое разрушение терморезисторов, причиной которого являются значительные температурные градиенты в образцах (рис. 2).

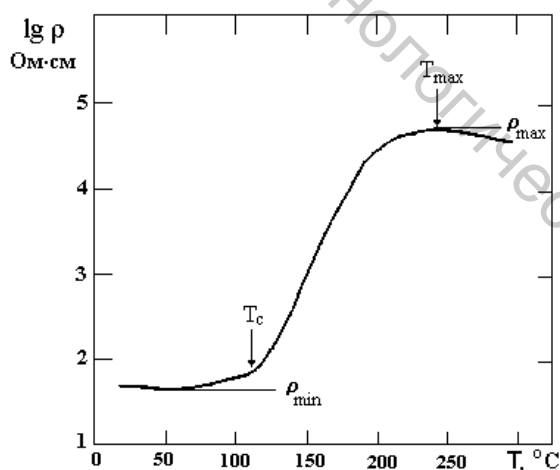


Рисунок 1 - Типичная температурная зависимость удельного сопротивления полупроводниковой керамики на основе BaTiO₃.

Известны три основных типа механического разрушения [3-4]: формирование нерегулярной сети трещин, перпендикулярных к основным поверхностям; формирование трещин на боковой поверхности диска или на периферии электродов; разрушение путем распространения трещины по плоскости параллельной электродам, когда позистор раскалывается на две почти равные половинки. Первые два связаны с неоднородностями и дефектами керамики и, как правило, зависят от качества производства образцов. Последний тип разрушения (его называют эффектом «расслоения») вызван более

фундаментальными причинами, а именно, температурными напряжениями, и может наблюдаться даже в отсутствии неоднородностей керамики.

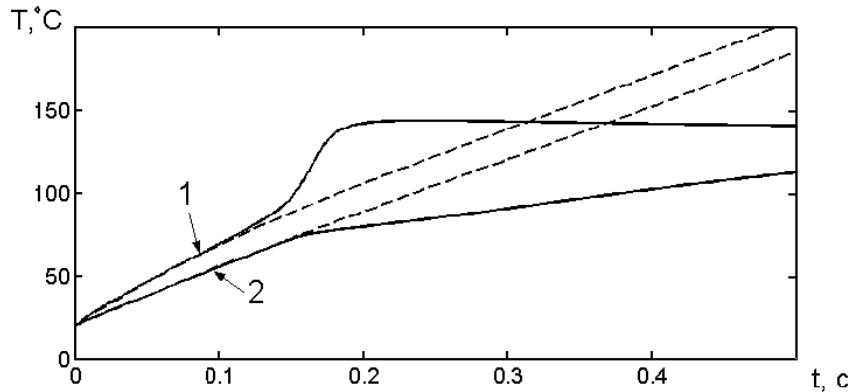


Рисунок 2 - Изменение максимальной (1) и минимальной (2) температуры резистивного элемента (25 Ом) после подачи на него электрического напряжения 220В (пунктир – резистор без ПТКС; сплошная линия – терморезистор с ПТКС, $T_C = 82\text{ }^\circ\text{C}$)

Наши расчеты показали, что максимальные растягивающие напряжения концентрируются у центра боковой поверхности терморезистора, а их величина достигает 50 МПа (рис. 3). При включении в цепь балластного сопротивления растягивающее напряжение (τ_z) возрастает до 70 МПа. Критические растягивающие напряжения для полупроводниковой керамики на основе титаната бария составляют 50-100 МПа, что соизмеримо с рассчитанными значениями. Как правило, терморезисторы разрушаются по механизму расслоения за несколько циклов включения-выключения. После каждого цикла фиксируется увеличение сопротивления при комнатной температуре. При этом в центре боковой поверхности наблюдается образование трещин, что также согласуется с результатами расчетов. Момент разрушения позистора, зафиксированный с помощью осциллограммы тока (рис. 4) соответствует расчетному времени возникновения максимума температурных напряжений.

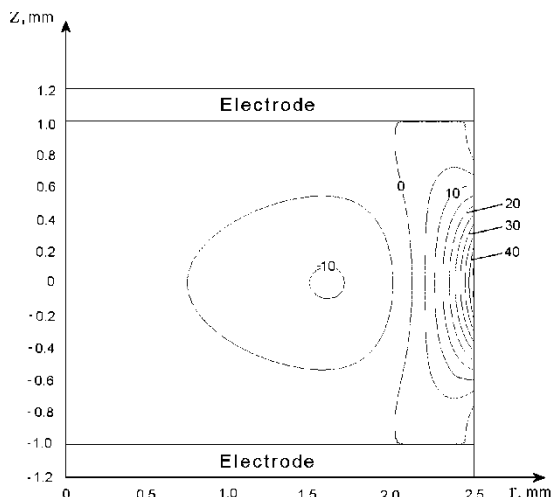


Рисунок 3 - Распределение температурных напряжений τ_z по образцу ($T_C=82\text{ }^\circ\text{C}$, $R_{25}=25\text{ Ом}$, $t = 0.13\text{ с}$)

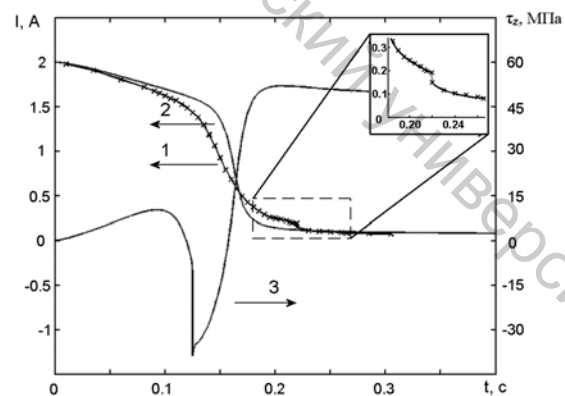


Рисунок 4 - Временное изменение тока протекающего через позистор (1 – эксперимент, 2 – расчет) и температурных напряжений (3) в центре боковой поверхности позистора

Установлено, что в процессе разогрева электрическим током максимальное растягивающее напряжение концентрируется у центра боковой поверхности терморезистора, что связано с существенным градиентом температур по толщине образцов. В случае наличия оловянно-свинцовых электродов значения растягивающих напряжений могут превышать 50 МПа, что соизмеримо с критическими значениями для полупроводниковой керамики на основе титаната бария. Таким образом, на основании численных экспериментов дано объяснение причин разрушения терморезисторов по механизму расслоения.

Список использованных источников

1. W. Heywang. Semiconducting Barium Titanate// J.Mater. Science. 1971. Vol. 6. Pp.1214-1226.
2. Полупроводники на основе титаната бария. М.: Энергоиздат, 1982.
3. Kulwicki B. M. Instabilities in PTC resistors// In Proc. 6th Internat. Symposium on the Applications of Ferroelectrics. IEEE, Bethlehem, PA, 1986. Pp. 656-664.
4. Dewitte C., Elst R., and Delannay F. On the mechanism of delamination fracture of BaTiO₃-based PTC thermistors// J. European Ceramic Society. 1994. Vol. 14. Pp. 481-492.

УДК 536.46+004.4'24

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНЫ ГОРЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ

Д.В. Раздобенко, Ю.В. Хлопков, М.М. Кулак

Процессы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) характеризуются быстрым продвижением фронта горения (1-100 мм/с) и самогенерацией тепла, что ведет к резкому росту температуры, в некоторых случаях до нескольких тысяч градусов Кельвина (3000 - 3500) со скоростью до 1500 градусов в секунду. В настоящее время изменения температуры образца в ходе СВС-реакций определяются с помощью встроенных термопар и инфракрасных камер. Существующие приемы экспериментальной диагностики позволяют изучать СВС, но требуют совершенствования, развития и приборного оформления.

Разрабатывается метод динамического измерения температур (по времени) с помощью цифровой видеокамеры. Способ заключается в том, что изображение светящегося объекта (зона горения) снимается на видеокамеру с определенной частотой: например, 25 Гц. Этого вполне достаточно для процесса СВС, длящегося порядка 1 сек. При этом рассматриваются следующие параметры: скорость распространения фронта, температурный профиль волны горения.

Условная схема измерительной системы: иницируется СВС, с кадровой частотой видеокамеры ВИДЕОСКАН-415 снимается светящийся объект, компьютер автоматически сохраняет изображение, далее следует обработка изображения в среде MATLAB. В цифровой форме изображение передается на компьютер в виде файла с различными расширениями или необработанных графических данных в виде трех составляющих – RGB.

С помощью MATLAB построчно выделяется и обрабатывается изображение фронта горения. Далее по измерению интенсивности пикселей строится распределение яркостной температуры, которая с помощью эталона (например, вольфрамовая нить) переводится в реальную температуру.

Приборы с зарядовой связью (ПЗС) характеризуются линейным участком зоны чувствительности. Если в поле зрения присутствуют участки с яркостью, превышающей