

Предложенная методика приемлема для нужд технической и медицинской диагностики, для распознавания изображений, при проектировании систем защиты информации, а также для поиска оптимумов в социологии, при оценке перспективности геологических структур на наличие полезных ископаемых и т. д.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Об одном методе решения задачи классификации объектов или явлений // Техн. кибернетика. — 1965. — № 1. — С. 58–64.

2. Журавлев Ю. И., Никифоров В. В. Алгоритмы распознавания, основанные на вычислении оценок // Кибернетика. — 1971. — № 3. — С. 1–11.

3. Вапник В. Н., Червонинкас А. Я. Теория распознавания объектов. — М.: Наука, 1974.

4. А. с. 1688260 СССР. Устройство для анализа альтернативных решений / М. Д. Скубилин, А. В. Письменов. — Оpubл. в Б. И., 1991, № 40.

5. Пат. 2018951 РФ. Устройство для анализа альтернативных решений / М. Д. Скубилин, О. М. Фабрикант, Г. Н. Шаповалов. — Оpubл. в Б. И., 1994, № 16.

*К. т. н. Н. М. ВАКИВ, Ю. МАЦЯК,  
к. х. н. О. Я. МРУЗ, д-р инж. Ю. ПОГОЖЕЛЬСКА,  
д. ф.-м. н. О. И. ШПОТЮК*

Украина, г. Львов, Науч.-производств. предприятие «Карат»  
Польша, г. Варшава, Варшавская Политехника

Дата поступления в редакцию  
04.01 2000 г.

Оппонент *д. ф.-м. н. А. О. МАТКОВСКИЙ*

## ДЕГРАДАЦИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ В РЕЖИМЕ ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК

*Исследовано изменение сопротивления терморезисторов с отрицательным ТКС под действием экстремальных значений импульсов тока.*

Керамические терморезисторы (ТР) с отрицательным ТКС широко используются в современной электронной аппаратуре для защиты источников вторичного электропитания от пусковых токов, для температурной компенсации, измерения температуры и др. По сравнению с известными схемными решениями указанных задач применение ТР позволяет получить преимущества в цене, в габаритных размерах, в надежности конструкции. Промышленные образцы ТР изготавливают в основном из сложных многокомпонентных полупроводниковых материалов на основе оксидов переходных металлов [1].

В то же время известно, что для большинства керамических ТР характерно протекание деградационных процессов, проявляющееся, в основном, в возрастании номинального сопротивления в процессе эксплуатации. Так, в работах [2, 3] показано, что в ТР на основе керамики со структурой шпинели в системе оксидов Ni и Mn металлизация керамики (формирование контактных площадок) при 850°C с последующим быстрым охлаждением приводит к изменению катионного распределения и ближнего порядка в структуре шпинели, что и является основным фактором, вызывающим со временем деградацию параметров ТР.

Однако при использовании ТР в качестве ограничителей пусковых токов деградационные процессы определяются еще и специфическим воздействием *токовых импульсов*, сопровождающимся локальными перегревами тела ТР и электрическими эффектами.

Целью настоящей работы было изучение процессов, происходящих на границе керамики и контактной площадки, и изменений микроструктуры самой керамики, а также установление их связи с изменением электрического сопротивления ТР в зависимости от количества воздействующих импульсов тока.

В работе использован метод деградации ТР в режимах экстремальных токовых нагрузок [4]. В таких условиях изменения параметров материала инициируются как воздействием электрических полей, так и влиянием повышенных температур вследствие токового разогрева, что дало возможность определить наиболее уязвимые области тела ТР при воздействии токовых импульсов.

Экспериментальные образцы ТР изготовлены с использованием солевого метода традиционной керамической технологии из углекислых солей марганца, кобальта, никеля и меди [5–7]. Образцы представляли собой таблетки из керамического материала диаметром 10 и толщиной 1 мм с нанесенными контактными площадками из серебра и припаянными медными выводами. Для защиты от влияния внешних воздействий элементы покрывали электроизоляционной негорючей эмалью на основе кремнийорганического лака. Номинальное сопротивление ТР при 25°C составляло 16 Ом (допустимое отклонение в пределах одной партии –20÷+40%).

Испытания ТР на циклическое воздействие токовой нагрузки проводились на специально собранной установке путем многократной зарядки конденсаторов емкостью 270 мкФ переменным током (при входном напряжении 250 В с частотой 50 Гц) через ТР и выпрямительный мост. Максимальное значение тока, проходящего через ТР в момент включения, равно ~22 А. Величина этого тока существенно зависит от температуры окружающей среды. В нашем случае испытания проводились при 25°C. Параметры выбранного режима испытаний значительно

жестче по сравнению с номинальным режимом работы ТР (в режиме эксплуатации, предусмотренном техническими условиями на ТР, величина емкости конденсатора составляет 200 мкФ).

Микроструктура протравленных в 3%-ном растворе HCl полированных поверхностей шлифов таблеток ТР исследовалась визуально и методом фотографирования на оптическом микроскопе EPIGNOST.

Испытания проводились на 26 образцах ТР, выбранных из одной технологической партии.

Относительное изменение сопротивления  $\Delta R/R_0$  в зависимости от количества циклов подачи импульсов тока  $N$  (усредненные данные для испытываемых образцов) представлены на **рис. 1**. Четко прослеживаются три участка на кривой зависимости  $\Delta R/R_0(N)$ . Первый участок (0–200 циклов) характеризуется быстрым нарастанием величины  $\Delta R/R_0$ , второй (200–700 циклов) — относительной стабилизацией значения сопротивления, а третий (700 и более циклов) — резким возрастанием сопротивления, приводящим в конечном итоге к необратимой деструкции ТР. (Аналогичные испытания были проведены и при других режимах. Отличие полученных результатов состояло лишь в соотношении отдельных участков зависимости  $\Delta R/R_0(N)$ .)

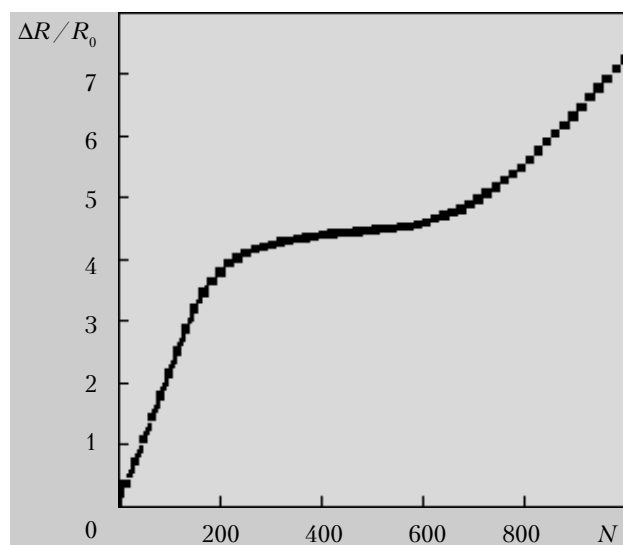


Рис. 1. Зависимость относительного изменения сопротивления терморезисторов  $\Delta R/R_0$  от количества циклов подачи импульсов тока  $N$

Проанализируем начальный участок возрастания величины относительного изменения номинального сопротивления ТР. Визуальное наблюдение внешнего вида ТР после воздействия небольшого числа циклов электрической нагрузки ( $N=5...20$ ) показало наличие на поверхности некоторых образцов областей вспучивания эмали. По всей видимости, такие повреждения образуются вследствие локальных электрических пробоев керамической матрицы. Они возникают, в первую очередь, на краях контактной площадки, где искривление линий напряженности электрического поля максимально.

При дальнейшем возрастании количества циклов (до 100–150) наблюдается расширение областей данных повреждений ТР, а также возникновение новых. Микроструктурные исследования керамики до и после воздействия 200 циклов импульсов электрического тока не показали, однако, существенных различий в размерах зерен и характере распределения внутренних пор.

Последующий участок зависимости  $\Delta R/R_0(N)$  (от 200 до 700 циклов) характеризуется относительной стабилизацией наблюдаемых структурных изменений.

При количестве циклов свыше 700 возникшие повреждения расширяются (их размер в некоторых случаях резко увеличивается за счет слияния нескольких поврежденных участков), причем новые дефекты возникают по всей контактной площадке (см. **рис. 2**). Как следствие, номинальное сопротив-

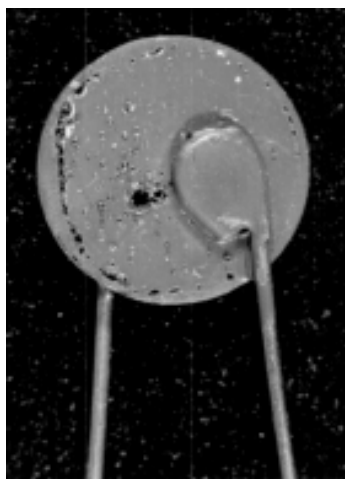


Рис. 2. Внешний вид поврежденного терморезистора после воздействия 1000 циклов импульсов тока

ление таких ТР выходит за пределы допустимых значений. Особенно наглядно происходящие изменения видны при сравнении типичного фрагмента микроструктуры исходного и поврежденного ТР (**рис. 3**). При этом в материале керамической матрицы происходят существенные межфазовые массообменные процессы, сопровождающиеся увеличением размера кристаллитных блоков и пор, а также разрастанием межзеренных границ в областях, прилегающих к области электрического пробоя (отмечены стрелками, **рис. 3, б**).

\*\*\*

Процесс деградации керамических терморезисторов под воздействием экстремальных токовых нагрузок носит неэлементарный характер и в значительной степени определяется общим количеством импульсов. Начальный этап разрушения ТР связан с электрическим пробоем керамической матрицы на краях контактной площадки. При резком возрастании количества импульсов (свыше 700) существенными становятся необратимые процессы в керамике, возникающие вследствие локальных перегревов тела ТР и электрических эффектов, и приводящие к выхо-

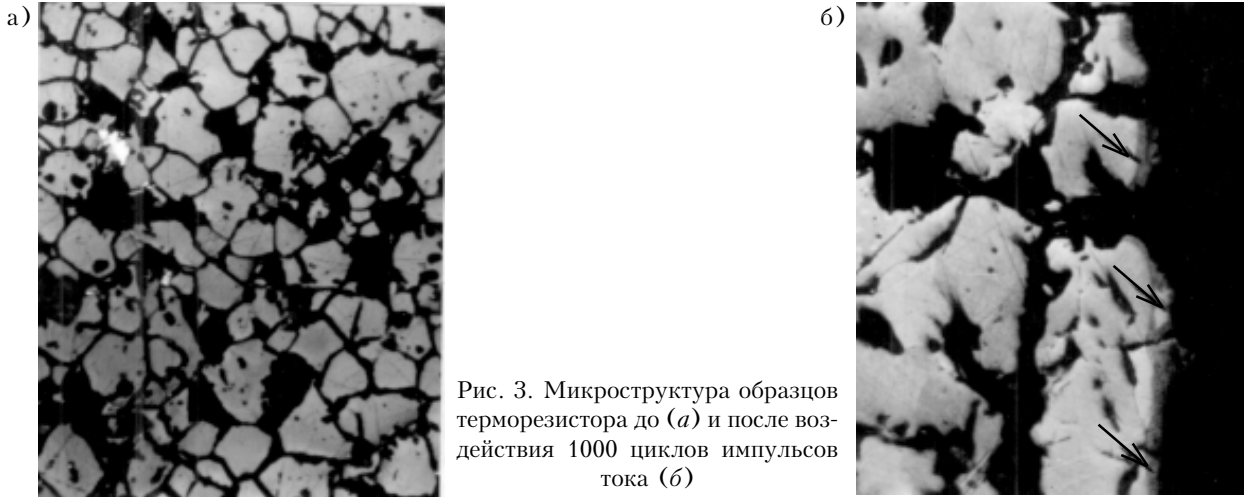


Рис. 3. Микроструктура образцов терморезистора до (а) и после воздействия 1000 циклов импульсов тока (б)

ду номинального сопротивления ТР за пределы допустимых значений.

Механизмы деградации электрических параметров ТР под воздействием импульсов тока необходимо учитывать при создании новых типов надежных и долговечных ТР.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Шефтель И. Т. Терморезисторы. — М. : Наука, 1973.
2. Elbadraoui E., Baudour J. L., Leroux C. et al. Cation distribution, short-range order and small polaron hopping conduction in nickel manganites, from a neutron diffraction study // Physica Status Solidi B — Basic Research. — 1999. — Vol. 212, N 1. — P. 129—139.
3. Fritsch S., Sarrias J., Brieu M. et al. Correlation between the structure, the microstructure and the electrical properties of nickel manganite negative tempera-

ture coefficient (NTC) thermistors // Solid State Ionics. — 1998. — Vol. 109, N 3—4. — P. 229—237.

4. Clark J. A., Garganese U. S., Swarz R. S. An approach to designing accelerated life-testing experiments // Proc. of the Annual Reliability and Maintainability Symposium. — 1997. — P. 242—248.

5. Поляков А. А. Технология керамических радиоэлектронных материалов. — М. : Радио и связь, 1989.

6. Ваків М. М., Веремейчук М. С., Гадзаман І. В. та ін. Електрофізичні властивості та мікроструктура напівпровідникової оксидної кераміки системи  $MnCo_2O_4 - CuMn_2O_4 - NiMn_2O_4$  // Вісник Львівського ун-ту. Сер. Хім. — 1994. — Вип. 33. — С. 8—11.

7. Hadzaman I. V., Kovalsky A. P., Mrooz O. Ya., Shpotyuk O. I. Thermal modification of ceramic composites based on manganese-containing cube spinels // Materials Letters. — 1996. — Vol. 29. — P. 195—198.

НОВЫЕ КНИГИ

**Лега Ю. Г., Мельник А. А. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры. Поверхностный монтаж электро-радиоэлементов: Учебное пособие. — Черкассы : ЧИТИ, 1999. — 131 с.** (На украинском языке.)

В учебном пособии на основе анализа зарубежных и отечественных источников, научного, педагогического и производственного опыта авторов изложены состояние и основные направления развития поверхностного монтажа (ПМ) за последние десять лет. Описаны основные виды элементной базы для ПМ, современные технологические процессы пайки и высокопроизводительное технологическое оборудование. Собрана и систематизирована информация о научно-исследовательских, производственных организациях и фирмах по сборке и монтажу ЭВМ и радиоэлектронной аппаратуры в целом, принимающих участие в развитии этого важного научно-технического направления, за которым будущее.

Пособие рассчитано на преподавателей, аспирантов, студентов высших технических учебных заведений Украины по специальностям компьютерной инженерии, радиотехники, приборостроения, а также на широкий круг специалистов.

