

Д. ф.-м. н. Ш. Д. КУРМАШЕВ, к. ф.-м. н. Н. Н. САДОВА,
Т. И. ЛАВРЕНОВА, Т. Н. БУГАЕВА

Украина, Одесский национальный университет
им. И. И. Мечникова
E-mail: ndl_lepikh@mail.ru

Дата поступления в редакцию
24.01—18.05 2005 г.

Оппонент О. Я. МРУЗ
(НПП "Карат", г. Львов)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР "RuO₂ — СТЕКЛО"

Гомогенность порошков исходных материалов позволяет получить резистивные элементы с воспроизводимыми электрофизическими параметрами и высокой прочностью сцепления с подложкой.

Структуры "RuO₂—стекло—керамика" обычно применяются в качестве резистивных элементов гибридных интегральных схем и представляют собой сложную систему, формирующуюся в процессе вжигания из смеси тонкоизмельченного электропроводного оксида металла и частиц стекла, диспергированных в органическом связующем. Эти структуры широко используются для создания современной электронной аппаратуры различного назначения, к параметрам которой предъявляют жесткие требования. Поэтому изучение электрофизических характеристик, их воспроизводимость при формировании таких структур приобретают особое значение.

Существует ряд работ, посвященных изучению зависимости параметров структур "RuO₂—стекло—подложка" от различных факторов [1—6]. Много внимания в литературе уделяется качеству функционального материала [7, 8], в то время как стеклофритту обычно считают аморфной однородной фазой, хотя известно, что стекла могут кристаллизоваться под действием термообработки. Кроме кристаллизации, непосредственное влияние на микроструктуру и механизм проводимости, а следовательно, и на электрофизические параметры толстых пленок оказывает дисперсность компонентов исходных материалов [9, 10]. Изучению этого вопроса уделено мало внимания. Экспериментальные данные работ часто противоречивы. В существующих сегодня стандартах и технических условиях дисперсность порошков для толсто пленочных элементов не регламентирована.

В настоящей работе исследовали изменение электрофизических свойств толсто пленочных структур на основе "RuO₂—стекло" в зависимости от размеров частиц стеклофритты и температуры вжигания с целью выяснения причин невоспроизводимости их параметров. Объектами исследований являлись резисторы, изготовленные на основе свинцовоборосиликатных стекол (PbO, SiO₂, B₂O₃, Al₂O₃) с фиксированными размерами частиц (0,5; 1; 3 и 5 мкм) и функционального материала RuO₂ с размерами частиц

порядка 1 мкм. Размер частиц порошков исходных материалов определялся с помощью системы анализа изображений "QUANTIMET-720" и растрового электронного микроскопа РЭМ-100У.

На рис. 1 приведены зависимости сопротивления толсто пленочных резисторов от изменения процентного соотношения проводящей фазы RuO₂ и стеклофритты и размеров частиц стекла при фиксированной температуре отжига (870°C). Видно, что изменение сопротивления наиболее сильно выражено у образцов с низким содержанием диоксида рутения. Сопротивление возрастает с увеличением содержания стекла, причем наиболее сильное изменение сопротивления наблюдается у составов с размером частиц стеклофритты 0,5 мкм. Например, сравнивая сопротивления резисторов, сформированных на базе стекол с размерами частиц 0,5 и 5 мкм, можно заметить, что сопротивление пленки при фиксированном соотношении концентраций (10:90) отличается больше чем на два порядка. С увеличением содержания RuO₂ это отличие уменьшается, сопротивление стремится к постоянному значению и практически не зависит от размера частиц стекла.

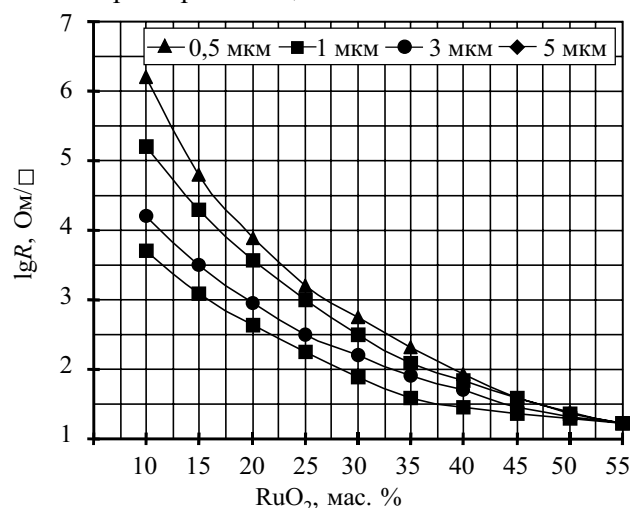


Рис. 1. Зависимость сопротивления R структур "RuO₂—стекло" от концентрации фазы RuO₂ для разных размеров частиц стекла

Увеличение сопротивления для высокоомных резисторов можно связать с процессами, протекающими в стеклофритте при вжигании паст [4], а также с влиянием дисперсности компонентов на геометрические размеры проводящих цепочек. С уменьшением

размеров частиц стекла увеличивается длина цепочек проводящей фазы и уменьшается площадь их поперечного сечения.

Как показано в работе [5], в системах "RuO₂—стекло" наблюдается смешанный характер проводимости как комбинация процессов, происходящих в проводящей фазе и стеклофазе. В высокоомных резисторах основной вклад в проводимость вносит стеклофритта, следовательно, состояние этой фазы играет существенную роль в процессе токопереноса. Использование неомогенных порошков стекла с частицами различных размеров (в нашем случае 0,5—5 мкм) при фиксированных температуре отжига и соотношении концентраций RuO₂ и стекла может привести к разбросу номинала высокоомных резисторов до двух порядков. Кроме того, варьируя размер частиц стекла можно получить широкий диапазон номинала толсто пленочных резистивных элементов.

Проведенные нами ранее исследования толсто пленочных резисторов, изготовленных по стандартной технологии на базе промышленных паст, показали низкую воспроизводимость их электрофизических параметров. Поэтому в данной работе исследовали порошки свинцовоборосиликатных стекол марок 279, 2005, 2006-2, 2006-3 и 2006-8, а также функционального материала RuO₂, применяемых нашей промышленностью при изготовлении резистивных паст. Нами составлены гистограммы распределения частиц по размерам порошков стекол различных марок (рис. 2). На основании экспериментальных данных можно сделать вывод, что одной из причин невоспроизводимости характеристик и нестабильности работы резисто-

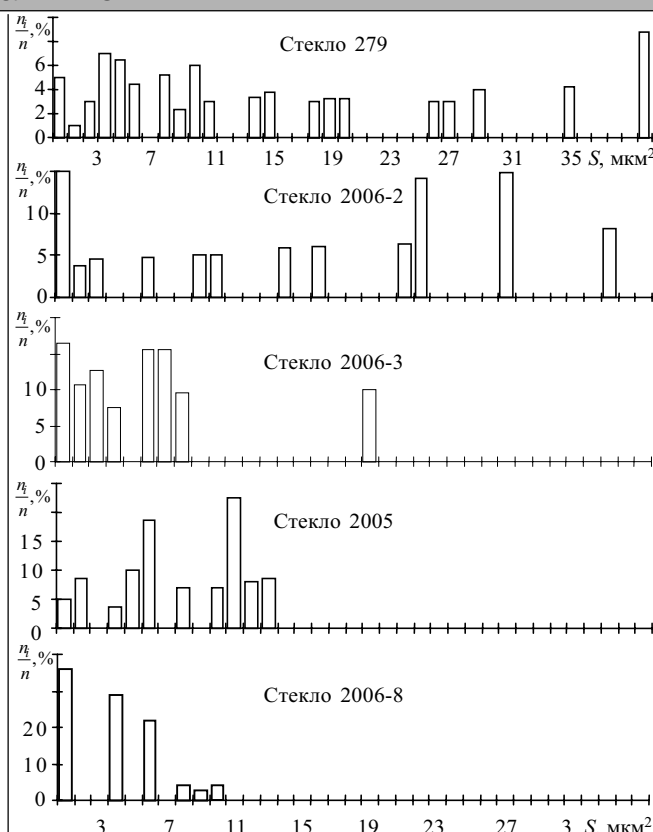


Рис. 2. Гистограммы распределений по размерам частиц порошков стекол (n_i/n — отношение количества частиц данного размера к общему количеству частиц, S — средняя площадь проекции частицы)

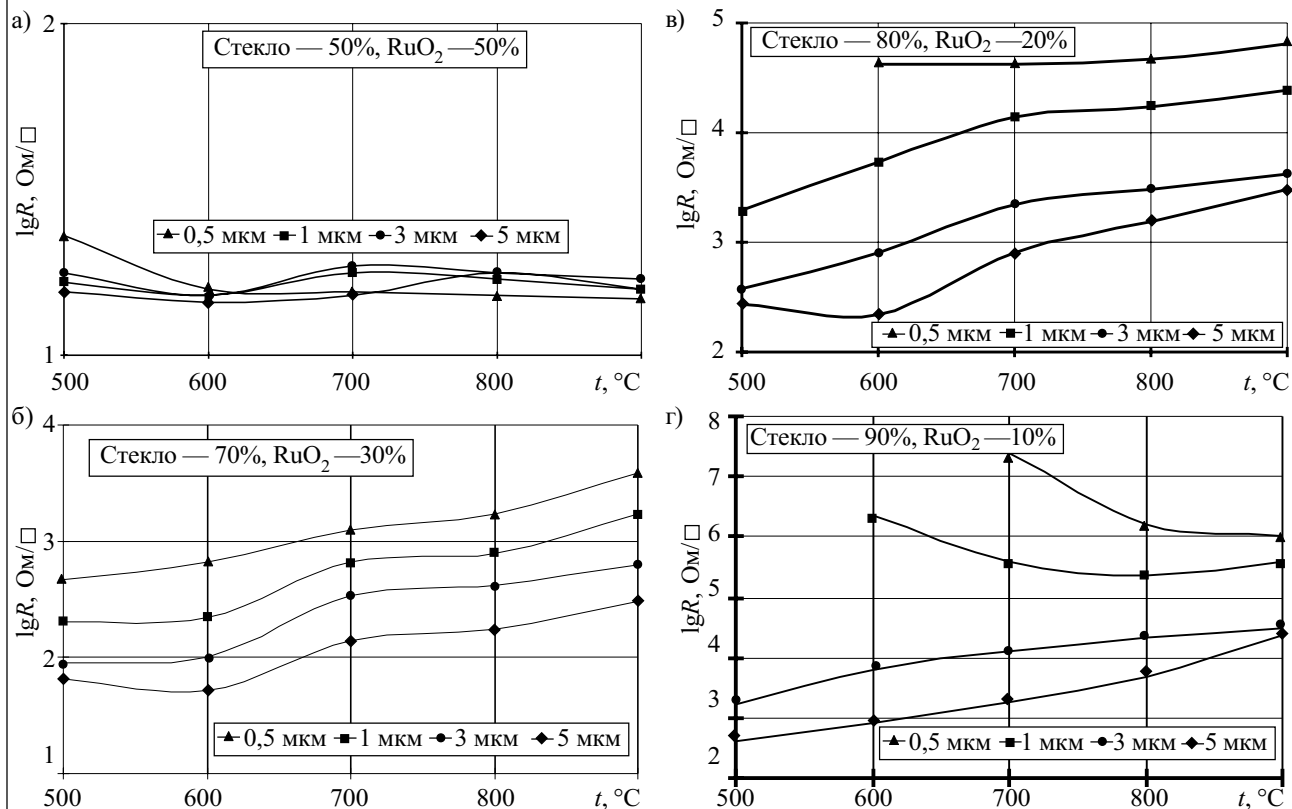


Рис. 3. Зависимость сопротивления резистивных пленок от температуры вжигания при различных соотношениях концентраций "стекло — RuO₂" для стеклофритт с размерами частиц 0,5; 1; 3 и 5 мкм

ров, полученных на базе освоенных промышленностью паст, является низкая гомогенность порошков исходных материалов. Особенно это сказывается при изготовлении высокоомных резисторов.

Попытки использовать ультразвуковое воздействие на резистивные промышленные пасты с целью увеличения их гомогенности не привели к ожидаемым результатам. Образцы, обработанные ультразвуком ($\gamma=20\pm 2$ кГц) при мощности генератора 400 Вт и объеме обрабатываемой пасты $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, имели среднеквадратичное отклонение сопротивления от номинального значения порядка 7%, температурный коэффициент сопротивления (ТКС) — 17%, в то время как отклонение сопротивления в контрольной партии образцов составило 11%, ТКС — 22%. Небольшое улучшение параметров можно объяснить лучшим перемешиванием компонент исходных порошковых материалов.

На рис. 3 представлены зависимости сопротивления структур "RuO₂—стекло" от температуры вжигания t при различных соотношениях концентраций исходных компонентов с размерами частиц стекла 0,5; 1; 3 и 5 мкм. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что сопротивление резистивных паст состава 50% RuO₂ и 50% стекла не меняется с увеличением температуры вжигания и практически не зависит от размера частиц стеклофритты (рис. 3, а). При увеличении концентрации стекла сопротивление зависит как от температуры, так и от размера частиц стекла (рис. 3, б, в, г). Следует отметить, что если для всех составов со стеклами с размером частиц 3 и 5 мкм сопротивление с увеличением температуры вжигания возрастает (рис. 3, б, в, г), то для состава "90% стекла — 10% RuO₂", размеры частиц стекла которого 0,5 и 1 мкм, замечена тенденция уменьшения сопротивления (рис. 3, г). По-видимому, это объясняется тем, что при спекании происходит частичное восстановление диоксида рутения, которое сопровождается появлением на поверхности подвижных атомов металла. Поскольку с уменьшением размера частиц общая площадь поверхности увеличивается, то ощутимо увеличивается количество свободных атомов металла, что приводит к уменьшению удельного поверхностного сопротивления резисторов, изготовленных на основе стекол с размерами частиц 0,5 и 1 мкм (рис. 3, г).

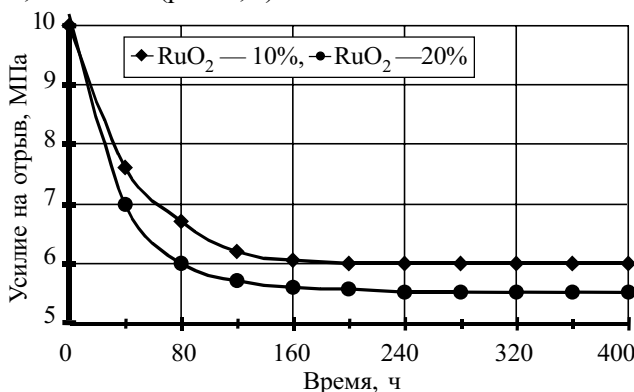


Рис. 4. Зависимость силы сцепления толстой пленки с подложкой от времени ускоренных испытаний при температуре 130°C и относительной влажности окружающей среды 98%

Как показали исследования, дисперсность порошков исходных материалов оказывает влияние и на механические свойства резистивных слоев. При использовании гомогенных порошков исходных материалов с фиксированными размерами частиц сила сцепления толстой пленки с подложкой составляет 10 МПа и при ускоренных испытаниях в камере тепла и влажности КТВ-0,5-65/155 (температура — 130°C, относительная влажность окружающей среды — 98%) уменьшается незначительно (до 5,5 МПа), а после 160 ч испытаний не изменяется (рис. 4). При использовании негомогенных порошков исходных материалов, размеры частиц которых лежат в пределах от долей микронметра до 5—7 мкм, после ускоренных испытаний (при тех же условиях) происходит полное отделение толстой пленки от подложки.

Выводы

Сопротивление толстых пленок зависит как от размеров частиц исходных компонентов, так и от температуры вжигания, причем изменение сопротивления может достигать 2—4 порядков. Использование гомогенных порошков исходных материалов резистивных паст обеспечивает воспроизводимость их электрофизических параметров и высокие прочностные характеристики толсто пленочных слоев.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ansell M. P. Conduction processes in thick film resistors // J. Electrocomponents Science Technology.— 1976.— Vol. 3, N 3.— P. 131—140.
2. Carcia P. F., Feretti A., Suna A. Particle size effects in thick film resistors // J. Appl. Phys.— 1982.— Vol. 53, N 7.— P. 5282—5288.
3. Ronald P., Anjard Sr. Precision fineness of grind measurement for thick film parts // Microelectron. Reliabil.— 1983.— Vol. 23, N 2.— P. 319—322.
4. Abe O., Taketa V., Haradome M. The effect of various factors on the resistance and TCK of RuO₂ thick film resistors — relation between the electrical properties and particle size of constituents, the physical properties of glass and firing temperature // Active and Passive Elec. Comp.— 1988.— Vol. 13, N 2.— P. 67—83.
5. Гребенкина В. Г., Дышель Д. Е., Смолин М. Д., Федоров В. Н. Механизм электропроводности резистивных толстых пленок на основе рутенатов свинца и висмута // Техника средств связи. Сер. ТПО.— 1990.— Вып. 2.— С. 26—28.
6. Шориков Ю. С., Орлов А. М. Оксиды платиновых металлов со структурой рутила в толсто пленочной технологии.— М.: ЦНИИцветмет, 1983.— Обзорная инф. Сер. Производство редких металлов и полупроводниковых материалов.— Вып. 2.
7. Шориков Ю. С., Шарина Н. С., Подшибякин С. В., Ялалдинова З. Х. Влияние морфологии частиц диоксида рутения на электропроводность толстых пленок при положительных температурах // Электронная техника. Сер. Материалы.— 1985.— Вып. 9.— С. 64—67.
8. Коледов Л. А., Яковлев Я. А. Влияние размера частиц проводящей фазы на электрические характеристики толсто пленочных резисторов // Там же.— С. 50—55.
9. Пучкова Н. С., Смирнов А. Н., Лазур А. И. Система паст «Аналог-4» расширяет возможности толсто пленочной технологии // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2000.— № 5—6.— С. 58—59.
10. Лозинский Н. С., Груба А. И., Левченко Л. И., Гарштя О. Н. Влияние компонентов рутениевых паст на параметры керметных резисторов // Там же.— 1997.— № 4.— С. 39—46.