

ЛИТЕРАТУРА

1. Блюменфельд Л. А. Проблемы биологической физики. — М., 1977.
2. Logvinenko V. A., Peshchevitsky B. I., Glogova O. V. — J. Therm. Anal., 1980, v. 18, № 3, p. 463.
3. Пальм В. А. Основы количественной теории органических реакций. — Л., 1977.
4. Рудаков Е. С. Термодинамика межмолекулярного взаимодействия. — Новосибирск, 1968.
5. Exner O. — Coll. Czech. Chem. Commun., 1964, v. 29, № 5, p. 1094.
6. Krug R. R., Hunter W. G., Grieger R. A. — Nature, 1976, v. 261, № 5561, p. 566.
7. Рудницкий Л. А., Замятина О. В., Алексеев А. М. — Теоретич. и эксперимент. химия, 1978, т. 14, № 2, с. 407.
8. Galwey A. K., Brown M. E. — J. Catalysis, 1979, v. 60, № 2, p. 335.
9. Лесникович А. И. — Ж. физ. химии, 1981, т. 55, № 5, с. 1165.
10. Кобозев Н. И. — Ж. физ. химии, 1948, т. 22, № 8, с. 1002.

Поступила в редакцию
15.02.82.

ИИИ ФХП

УДК 631.3 : 636.51 + 621.365

В. А. КОРОТИНСКИЙ

СТЕКЛОМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ РЕЗИСТИВНЫЙ ПЛЕНОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Тенденция создания резистивных электронагревательных элементов в виде толстослойных полупроводниковых пленок (ПЭН) обусловлена стремлением снизить расход дефицитных металлических сплавов, повысить равномерность теплового потока на обогреваемой поверхности, теплотехнические и энергетические характеристики электронагревательных приборов.

Особый интерес представляют приборы, совмещенные с ПЭН в единую неразъемную конструкцию (различные емкости, котлы, ванны, отопительные панели и другие) [1, 2].

Известны резистивные пленки по стеклу, керамике, металлу, где связующим является неорганическое стекло, а функциональным токопроводящим наполнителем — порошки металлов (никеля, кадмия, ферросилиция, серебра, золота и др.) [3, 4]. Недостаток этих пленок — высокая стоимость, сравнительно небольшая поверхность теплосъема, сложная технология изготовления.

В НИЛ ПЭН БИМСХ методом многофакторного эксперимента синтезированы резистивные пленки, имеющие в своем составе стеклосвязку, содержащую окислы SiO_2 , Na_2O , Li_2O , K_2O , B_2O_3 , CaO , BaO , MgO , SnO_2 , SrO , Na_3AlF_6 со шликерными добавками, а в качестве функционального наполнителя — порошковый титан [5]. Технология изготовления электронагревательных приборов с ПЭН достаточно проста и состоит в нанесении методом пульверизации на стальную эмалированную поверхность токопроводящей пленки в виде шликера, которая высушивается при 100—120 °С и обжигается в электрической печи в течение 1,5 мин. при 740—800 °С в окислительной атмосфере.

Для исследования электрофизических и эксплуатационных характеристик разработанного резистивного покрытия были изготовлены образцы по приведенной технологии. По краям токопроводящей пленки методом металлизации нанесены латунные электроды для пайки контактных проводов. Покрытие герметизировано легкоплавкой стеклоэмалью.

Результаты исследования показали (рис. 1), что с увеличением температуры обжига сопротивление покрытия падает, а температурный коэффициент сопротивления (ТКС) возрастает, что характерно для большинства композиционных резистивных пленок, формирование которых связано с процессами спекания функционального наполнителя [6].

Эксплуатационные испытания проводились в течение 1800 ч непрерывной работы в воздухе при температуре на поверхности образцов до 400 °С. Было установлено, что сопротивление резистивной пленки возра-

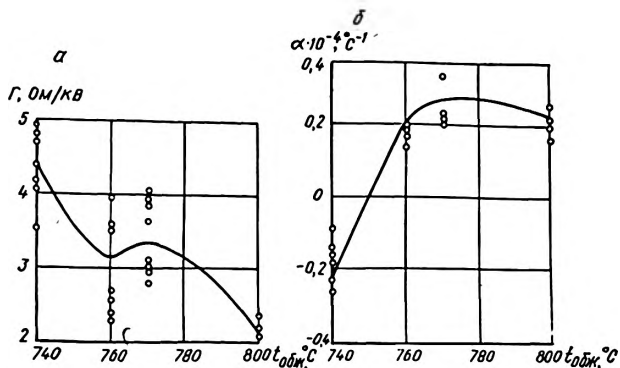


Рис. 1. Зависимости поверхностного сопротивления (а) и ТКС (б) токопроводящей пленки от температуры ее обжига (содержание титана 40 %, время обжига 1,5 мин)

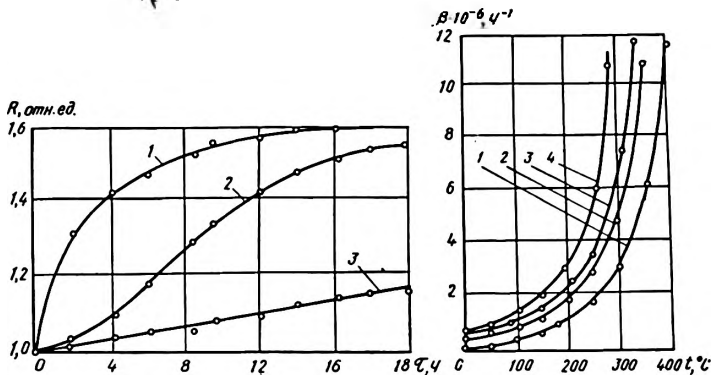


Рис. 2. Эксплуатационные характеристики токопроводящей пленки при удельных поверхностных мощностях 3,36 (1); 2,7 (2); 2,6 (3) Вт·см⁻²

Рис. 3. Зависимость коэффициента старения токопроводящей пленки (содержание титана 40 %) от рабочей температуры и режима термообработки ($t_{обж}$):
1 — 740; 2 — 760; 3 — 770; 4 — 800 °C

стает с увеличением температуры, зависящей от подводимой мощности и условий теплосъема с элемента (рис. 2). При этом температура ПЭН определяется температурой окружающей среды и температурой, обусловленной выделением теплоты при рассеивании мощности на пленке и может быть выражена

$$t = t_0 + r_t \frac{P}{F}, \quad (1)$$

где t — температура на поверхности пленки, °C; t_0 — температура окружающей среды, °C; r_t — удельное термическое сопротивление, м²·°C·Вт⁻¹; P — мощность ПЭН, Вт; F — площадь поверхности теплоотдачи, м².

Таким образом, при прочих равных условиях (одинаковая ваттная нагрузка, температура окружающей среды) старение резистивной пленки уменьшается с увеличением площади и снижением термического сопротивления ПЭН. Последнее обстоятельство накладывает особые требования на форму и размеры совмещенных электронагревательных при-

боров, площадь поверхности которых должна определяться допустимой удельной поверхностной мощностью ПЭН.

Снижение эксплуатационных показателей ПЭН можно оценить коэффициентом старения β ($ч^{-1}$), который зависит от режима термообработки и процентного содержания функционального наполнителя, а также от рабочей температуры пленки.

$$\beta = \frac{R_1 - R_0}{R_0 (\tau_1 - \tau_0)}, \quad (2)$$

где R_0 и R_1 — сопротивление резистивного элемента в моменты времени τ_0 и τ_1 .

Для разработанного токопроводящего покрытия получены эмпирические зависимости коэффициента старения от температуры обжига пленки ($t_{\text{обж}} = 740 - 800^\circ\text{C}$)

$$\begin{aligned} \beta_{740} &= 10^{-5} (1,012' + 1); \quad \beta_{760} = 10^{-5} (1,0135' + 6); \\ \beta_{770} &= 10^{-5} (1,014' + 7,9); \quad \beta_{800} = 10^{-5} (1,016' + 7,1). \end{aligned} \quad (3)$$

Как показали исследования (рис. 3), наиболее подвержены старению резистивные пленки с большим процентным содержанием титана, изготавливаемые при более высокой температуре обжига покрытия.

Сопrotивление ПЭН с учетом температурной и временной нестабильностей можно определить по формуле

$$R \approx R_0 [1 + \alpha (t - t_0)] (1 + \beta \tau), \quad (4)$$

где α — ТКС токопроводящего покрытия, $^\circ\text{C}^{-1}$; τ — время работы ПЭН под нагрузкой.

В период между эксплуатацией токопроводящее покрытие также подвергается старению, обусловленному условиями хранения и конструктивными особенностями выполнения электронагревательных приборов с ПЭН. В результате исследования процесса естественного старения разработанного токопроводящего покрытия получена эмпирическая зависимость для определения коэффициента естественного старения

$$\beta^* = 10^{-5} (0,059 t_{\text{обж}} - 49,7 + 1,99 r_0), \quad (5)$$

где r_0 — удельное поверхностное сопротивление пленки, Ом/квадрат. С учетом этих процессов сопротивление ПЭН может быть выражено

$R^* = R (1 + \beta^* \tau^*)$, где τ^* — время, в течение которого ПЭН не работает.

Разработанный и исследованный стеклометаллический пленочный электронагревательный элемент, характеризующийся ТКС $(-2,6 - +2,2) 10^{-5} ^\circ\text{C}^{-1}$ при удельном поверхностном сопротивлении 2,18—4,45 Ом/квадрат, можно использовать в низкотемпературных электронагревательных приборах с температурой на поверхности до 200°C при напряжении до 220 В. При этом необходимо учитывать конструктивные особенности устройства, определяющие степень защиты ПЭН от внешних воздействий и характер теплообмена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев Н. Ф., Герасимович Л. С. Полупроводниковые пленочные электронагреватели в сельском хозяйстве. — Минск, 1973.
2. Герасимович Л. С., Мелихов А. Т., Ходский Л. Г., Коротинский В. А. и др. А. с. 625685 (СССР). Емкость для тепловой обработки пищевых продуктов. — Оpubл. в БИ, 1978, № 36.
3. Гальперин Б. С. Непроволочные резисторы. — М., 1968.
4. Хамер Д., Биггерс Д. Технология толстопленочных гибридных интегральных схем. — М., 1975.
5. Герасимович Л. С., Коротинский В. А., Малинин В. Р., Павленко Л. А., Степанов В. П. А. с. 790022 (СССР) Композиционный материал. — Оpubл. в БИ, 1980, № 47.
6. Бочкарев Б. А., Бочкарева В. А. Керметные пленки. — Л., 1975.