

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЯХ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕРНЫХ ПРОВОЛОК

Г. Н. ГУЩИН

(Представлена научным семинаром кафедр геофизических методов разведки,
геодезии и маркшейдерского дела)

А. Сведения о полупроводниковых термосопротивлениях. Термочувствительные сопротивления (ТС) представляют собой объемные полупроводниковые сопротивления, величина которых резко уменьшается при увеличении температуры. В то время как у металлов температурный коэффициент сопротивления α составляет 0,4% — 0,5% на 1°C, у термосопротивлений этот коэффициент равен 3% ÷ —6% на 1°C.

Ярко выраженная зависимость сопротивления ТС от температуры делает его удобным для применения в качестве датчика температуры. Преимуществами термосопротивлений являются:

1. Высокая температурная чувствительность. На рис. 1 представлен характер зависимости сопротивления от температуры для ТС (1) и металлического проводника (2). Этот график свидетельствует о том, что полупроводниковые температурные датчики позволяют получить в сравнении с металлами более высокий порядок температурной чувствительности. В качестве примера можно привести следующие данные: при повышении температуры от 0 до 100°C сопротивление платины увеличится на 35%, а у полупроводников — падает в 20—70 раз (в зависимости от температурного коэффициента ТС) [1].

2. Малые габариты и, следовательно, малая тепловая инерция ТС. О степени тепловой инерции судят по величине так называемой постоянной времени. За постоянную времени принято время, в течение которого температура ТС повышается на 63% при перенесении его из воздушной среды с температурой 0°C в воздушную среду с температурой 100°C.

3. Предельная простота устройства (например, рис. 3).

4. Высокая стабильность характеристик ТС во времени. Для иллюстрации стабильности ТС на рис. 2 приведены характеристики изменения сопротивления после прогрева термосопротивлений двух основных типов, изготавливаемых в настоящее время промышленностью в различном конструктивном оформлении, а именно: ТС КМТ-1 и ММТ-4.

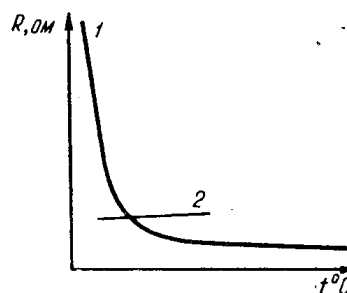


Рис. 1. 1 — платиновые подводящие провода. 2 — термосопротивления МТ-54. 3 — стеклянная ампула

Графики (рис. 2) свидетельствуют о высокой стабильности ТС, которая при максимальных рабочих температурах не превышает 1,5%.

5. Долговечность и полное отсутствие необходимости специального ухода в период эксплуатации.

6. С помощью ТС можно надежно и просто организовать дистанционное и централизованное измерение температур.

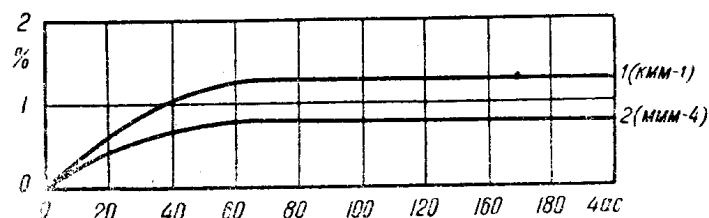


Рис. 2

Большая величина сопротивления ТС позволяет полностью пренебречь сопротивлением подводящих проводов, контактными сопротивлениями и контактными ЭДС, что дает возможность измерять температуру при значительном удалении от измерительного пульта.

В том, что нарушение целостности контакта подводящих проводов и изменение величины сопротивления последних не оказывают заметного влияния на показания термистора, можно убедиться на следующем простом опыте. Разрежем один из подводящих проводов, а потом вновь его соединим. Тогда мы обнаружим, что показания термистора при этом не изменятся. Далее тот же подводящий провод нагреваем спиртовкой в месте контакта (соединения), второй же подводящий провод оставим при комнатной температуре. Показания термистора не изменятся даже тогда, когда первый подводящий провод поместим в пламя спиртовки.

Температурная зависимость сопротивления является главной характеристикой термосопротивлений. С повышением температуры в полупроводниках подвижность носителей тока — электронов и дырок — резко возрастает. При этом столь же резко уменьшается сопротивление. Зависимость удельного сопротивления полупроводников ρ от температуры в не слишком широком температурном интервале всегда может быть выражена экспоненциальным законом

$$\rho = A_{уд} e^{\frac{B}{T}}, \quad (1)$$

где $A_{уд}$ и B — постоянные величины, зависящие от физических свойств материала;

T — температура в градусах абсолютной шкалы.

Отсюда следует, что величину электрического сопротивления R_T (в омах) при температуре T можно определить как

$$R_T = A e^{\frac{B}{T}}, \quad (2)$$

где постоянная

$$A = A_{уд} \frac{l}{S} \quad (3)$$

зависит от физических свойств материала и габаритов термосопротивления; l — расстояние между электродами в см;

S — площадь поперечного сечения в кв см.

Величина постоянной B определяется экспериментально путем измерения сопротивления ТС при двух температурах T и T_0

$$B = \frac{2,303 \Delta \lg R}{\Delta \frac{1}{T}}, \quad (4)$$

где

$$\Delta \lg R = \lg R_T - \lg R_{T_0}$$

и

$$\Delta \frac{1}{T} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}.$$

Если определить температурный коэффициент сопротивления α так, как это обычно принято

$$\alpha_T = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}, \quad (5)$$

то из уравнения (2) следует, что $\alpha_T = -\frac{B}{T^2}$.

Таким образом, величина α определяется значением постоянной B , причем температурный коэффициент обратно пропорционален квадрату абсолютной температуры ТС, т. е. при повышении температуры абсолютная величина α уменьшается. Указанный характер изменения сопротивления свойствен всем термосопротивлениям независимо от их конструкции.

Очень часто ТС герметизированы, вследствие чего они могут быть использованы в условиях повышенной влажности и в жидкости.

В термисторах, используемых для определения температур мерных проволок ([4], [5]), температурным датчиком служит полупроводниковое микротермосопротивление МТ-54, предложенное В. Г. Кармановым.

Конструктивно тело сопротивления МТ-54 представляет собой цилиндр (рис. 3), с размерами в сечении $0,3 \times 0,5$ мм из смеси окислов нескольких металлов: марганца, кобальта, титана, никеля и др. Термосопротивление запаяно в стеклянную ампулку, внешний диаметр которой равен 0,8 мм.

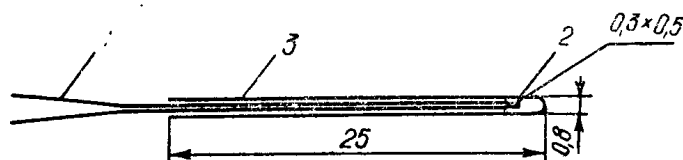


Рис. 3

Основные технические характеристики МТ-54 таковы: номинальное омическое сопротивление при 0°C — 4016 ом, при комнатной температуре — 800 ом; температурный коэффициент при 20°C 3,6%; постоянная времени равняется 10 секунд; допустимый диапазон измерения температур от -70°C до $+150^\circ\text{C}$.

В. Замечания относительно технологии изготовления полупроводниковых термосопротивлений МТ-54. В период исследования возможность применения полупроводниковых термосопротивлений в качестве термометров мы пользовались микротермосопротивлениями типа МТ-54, выпущенными вначале опытными мастерскими Ленинградского агрофизического института (5 экз.), затем — Ленинградским опытным заводом полупроводниковых и ультразвуковых приборов (20 экз.).

Результаты выполненных исследований показали, что при изготовлении сопротивлений МТ-54 требуется:

1. Прежде всего заизолировать платиновые контактные выводы (1, рис. 3). То обстоятельство, что контактные выводы сопротивлений до сих пор не заизолированы, несмотря на их серийное производство, создает известные неудобства при практическом применении их.

2. Одной из наиболее важных характеристик термистора является характеристика его старения, показывающая, насколько постоянным во времени остается сопротивление термисторов при данной температуре.

Явное большинство сопротивлений МТ-54, с которыми нам пришлось работать, было плохо состарено, что отрицательно сказывается на стабильности их показаний и вызывает необходимость проведения обязательного дополнительного старения.

Дополнительное термическое старение сопротивлений МТ-54 мы проводили путем их нагрева в физическом термостате до 50°C в течение 4—5 суток, после чего стабильность сопротивлений резко возрастала. Но для отдельных сопротивлений МТ-54 только такого дополнительного термического старения было недостаточно. Это обнаруживалось в следующем. При градуировании прибора по методике, описанной в [6], после определения положения нуля температурной шкалы вдруг стало наблюдаться его постепенное (иногда непрерывное, иногда скачкообразное) сползание, величина которого доходила до $4\text{—}7^{\circ}\text{C}$ ранее отградуированной шкалы. И только позднее, после многократного градуирования (5—7 раз), т. е. после предварительного пропускания тока через сопротивления и одновременного при этом изменения его температуры (нагрева и охлаждения), положение нуля шкалы и отдельных градусов стало устойчивым. Это явление дает основание предполагать, что искусственное старение сопротивлений МТ-54 следует проводить в тех режимах и нагрузках, при которых данное термосопротивление будет работать.

Таким образом, искусственное старение термосопротивлений МТ-54, предназначенных в качестве датчика при учете температуры мерной проволоки, следует проводить в два этапа. При первом этапе старения термосопротивление нужно держать при $+50^{\circ}\text{C}$ в течение 4—5 суток. При втором этапе старения следует выполнить многократное градуирование термистора по методике, описанной в [6]. Градуирование термистора рекомендуется повторять до тех пор, пока последние тарировочные температурные шкалы не будут совпадать в пределах заданной точности с первоначальными.

Такой путь дает возможность убедиться, насколько постоянными во времени остаются показания термистора при изменении его температуры, и одновременно позволяет уточнить температурную шкалу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Термосопротивления. Полупроводниковые сопротивления с большой величиной температурного коэффициента. 1957.
2. И. Т. Шефтель. Полупроводниковые термочувствительные сопротивления. 1956.
3. Применение полупроводников в приборостроении. Труды конференции, под редакцией Н. И. Чистякова. Машгиз. М., 1958.
4. М. В. Постников, Я. В. Шварцман. Прибор для определения температур измерительных проволок (вторая модель). Сборник трудов ТИСИ, том IV, 1958.
5. М. В. Постников, Г. Н. Гушин. Определение температуры измерительных проволок полупроводниковым микротермосопротивлением. Изв. вузов—Геодезия и аэрофотосъемка, вып. 4, М., 1964.
6. Г. Н. Гушин. Методика эталонирования термисторов, используемых для определения температуры мерных проволок. Изв. ТПИ, т. 118, 1963.