

**Полупроводниковым резистором** называют полупроводниковый прибор с двумя выводами, в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводника от напряжения, температуры, освещенности и других управляющих параметров. В полупроводниковых резисторах применяется полупроводник, равномерно легированный примесями. В зависимости от типа примесей и конструкции резистора удается получить различные зависимости от управляющих параметров. Классификация и условные графические обозначения полупроводниковых резисторов приведены на рис. 1.

В соответствии с этой классификацией первые две группы полупроводниковых резисторов — линейные резисторы и нелинейные резисторы (варисторы) — имеют электрические характеристики, слабо зависящие от таких параметров, как температура окружающей среды, вибрация, влажность, освещенность и т. д. Для остальных групп полупроводниковых резисторов характерна существенная зависимость электрических характеристик от этих параметров, поэтому их широко используют в качестве первичных преобразователей неэлектрических величин в электрические. Электрические характеристики терморезисторов сильно зависят от температуры, фоторезисторов — от освещенности, тензорезисторов — от механических напряжений.

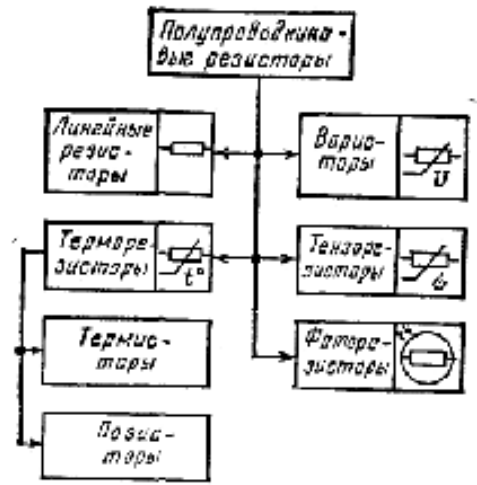


Рис. 1. Классификация и условные графические обозначения полупроводниковых резисторов

**Линейный резистор** — полупроводниковый резистор, в котором применяется слаболегированный материал типа кремния или арсенида галлия. Удельное электрическое сопротивление такого полупроводника мало зависит от напряженности электрического поля и плотности электрического тока. Поэтому сопротивление линейного полупроводникового резистора остается практически постоянным в широком диапазоне напряжений и токов. Полупроводниковые линейные резисторы широко применяют в интегральных микросхемах.

**Варистор** — полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от приложенного напряжения, поэтому его вольтамперная характеристика нелинейна. Полупроводниковым материалом для изготовления варисторов служит карбид кремния. Порошкообразный кристаллический карбид кремния смешивают с глиной и из этой массы прессуют заготовки варисторов в виде стержней или дисков. После обжига при высокой температуре на заготовки методом горячего распыления наносят электроды. Для защиты от внешних воздействий варисторы покрывают электроизоляционным лаком. Нелинейность характеристик варисторов обусловлена локальным (местным) разогревом на контактах между многочисленными кристаллами карбида кремния. Сопротивление контактов при этом существенно снижается, что приводит к уменьшению общего сопротивления варисторов. Вольтамперная характеристика варистора приведена на рис. 2. Один из основных параметров варистора — коэффициент нелинейности

$$\lambda = R_1 R_2 = \frac{U_1 I_2}{U_2 I_1} \quad (1.1)$$

где  $U$  и  $I$  — напряжение и ток варистора. Коэффициент нелинейности для различных типов варисторов лежит в пределах 2—6.

**Терморезистор** — полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводника от температуры. Различают два типа терморезисторов: термистор, сопротивление которого с ростом температуры падает, и позистор, у которого сопротивление с повышением температуры возрастает. Конструкции термисторов показаны на рис. 3, а — в.

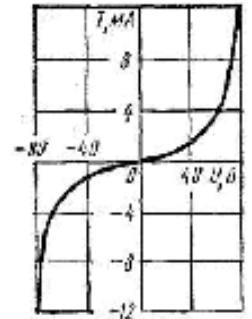


Рис. 2. Вольтамперная характеристика варистора

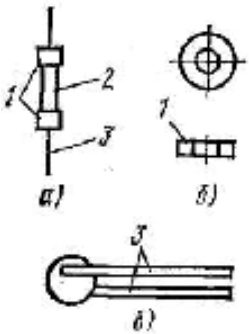


Рис. 3. Конструкции термисторов: а — цилиндрическая; б — дисковая; в — кольцевая (1 — полупроводник; 2 — контакты; 3 — выводы)

Материалом для изготовления термисторов служат обычно полупроводники с электронной электропроводностью, как правило, оксиды металлов и смеси оксидов. Конструктивно термисторы оформляют в виде бусин, шайб, дисков. В ряде случаев термисторы помещают в стеклянные баллоны и подогревают током с помощью специальной обмотки. Такой термистор называют термистором косвенного подогрева.

Температурная характеристика выражает зависимость сопротивления терморезистора от температуры (рис. 4).

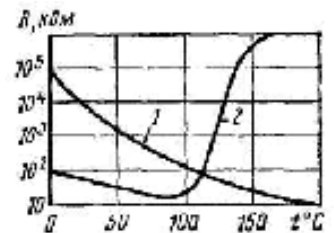


Рис. 4. Температурные характеристики терморезисторов: 1 — термистора; 2 — позистора

Основным параметром, характеризующим работу терморезистора, является температурный коэффициент сопротивления

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} 100,$$

который выражает процентное изменение сопротивления терморезистора при изменении температуры.

Для выпускаемых промышленностью термисторов  $\alpha = -0,3 \div -0,66$ . Термистор не обладает вентиляльными свойствами и имеет сравнительно большую тепловую инерцию. Поэтому в электрических цепях термисторы ведут себя как обычные резисторы, сопротивление которых зависит от температуры окружающей среды и действующего тока, причем до высоких частот (100—500 МГц) не сказываются паразитная емкость и собственная индуктивность термисторов. Это свойство используют при измерении действующих токов высокой частоты. Позистор имеет положительный температурный коэффициент сопротивления. Материалом для изготовления резисторов служит титанат-бариевая керамика с примесью редкоземельных элементов. Этот материал обладает аномальной температурной зависимостью: при повышении температуры выше точки Кюри его сопротивление возрастает на несколько порядков. Конструктивно позисторы оформляют аналогично термисторам. Зависимость сопротивления позистора от температуры показана на рис. 4 (кривая 2). Температурный

коэффициент сопротивления терморезистора  $\alpha = 10 \div 50$  вблизи точки Кюри.

Терморезисторы применяют в системах регулирования температуры, тепловой защиты, противопожарной сигнализации. Термисторы можно использовать при измерении температуры в широком диапазоне, позисторы — в ограниченных температурных диапазонах.

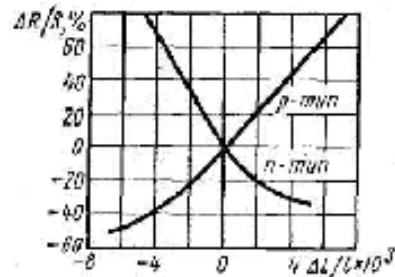
Рис. 5. Деформационная характеристика тензорезистора

**Тензорезистор** — полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления от механических деформаций. Для изготовления тензорезисторов чаще всего применяют кремний с электропроводностью как p-типа, так и n-типа. Заготовки такого кремния режут на мелкие пластинки, шлифуют для получения гладкой поверхности с малым количеством дефектов. К концам пластинок приваривают контакты.

Важной характеристикой тензорезистора является его деформационная характеристика (рис. 5), представляющая собой зависимость относительного изменения сопротивления  $\Delta R/R$  от относительной деформации  $\Delta l/l$ , где  $l$  — длина рабочего тела тензорезистора.

Основными параметрами тензорезистора являются номинальное сопротивление  $R_{ном} = 100 \div 500$  Ом и коэффициент тензочувствительности  $K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}$ , значение которого для различных тензорезисторов лежит в пределах от  $-150$  до  $+150$ .

**Фоторезистор** — полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от освещенности.



Контрольные вопросы:

1. Что такое полупроводниковый резистор?
2. Как классифицируются полупроводниковые резисторы?
3. Что такое линейные резисторы?
4. Что такое варистор? Нарисуйте ВАХ варистора.
5. Что такое терморезистор?
6. Какие типы терморезисторов вам известны?
7. Нарисуйте температурные характеристики терморезисторов.
8. Что такое тензорезистор? Нарисуйте деформационную характеристику тензорезистора.
9. Что такое фоторезистор?