## Тема 2. Полупроводниковые резисторы

## Классификация и условное обозначение полупроводниковых резисторов

|  |  |
| --- | --- |
| Тип резисторов | Условное обозначение |
| Линейные резисторы |  |
| Варисторы |  |
| Терморезисторы:термисторы, позисторы |  |
| Тензорезисторы |  |
| Фоторезисторы |  |

Первые две группы полупроводниковых резисторов в соответствии с этой классификацией - линейные резисторы и варисторы - имеют электрические характеристики, слабо зависящие от внешних факторов: температуры окружающей среды, вибрации, влажности, освещенности и др. Для остальных групп полупроводниковых резисторов, наоборот, характерна сильная зависимость их электрических характеристик от внешних факторов. Так, характеристики терморезисторов существенно зависят от температуры, характеристики тензорезисторов - от механических напряжений.

Рассмотрим подробнее разновидности полупроводниковых резисторов.

## Варисторы

Варистор - это полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от приложенного напряжения и, обладающий нелинейной симметричной вольт - амперной характеристикой (ВАХ).

Варисторы изготавливают методом керамической технологии, т.е. путем высокотемпературного обжига заготовки из порошкообразного карбида кремния SiC со связующим веществом, в качестве которого используют глину.

Внешне варисторы оформляются в виде стержней или дисков.

Нелинейность вольт - амперной характеристики варисторов обусловлена явлениями на точечных контактах между кристаллами карбида кремния: увеличение в сильных электрических полях проводимости поверхностных потенциальных барьеров (при малых напряжениях) и увеличение проводимости точечных контактов между кристаллами из-за разогрева в связи с выделяющейся на контактах мощностью (при больших напряжениях на варисторе).

Поскольку толщина поверхностных потенциальных барьеров на кристаллах карбида кремния мала, там могут возникать сильные электрические поля даже при малых напряжениях на варисторе, что приводит к туннелированию носителей заряда сквозь потенциальные барьеры. Таким образом, при малых напряжениях на варисторе нелинейность ВАХ связана с зависимостью проводимости поверхностных потенциальных барьеров от величины напряжения.

При больших напряжениях на варисторе и соответственно, при больших токах, проходящих через варистор, плотность тока в точечных контактах оказывается очень большой. Все напряжение, приложенное к варистору, падает на точечных контактах. Поэтому уд. мощность (мощность в единице объема), выделяющаяся в точечных контактах приводит к уменьшению общего сопротивления варистора и нелинейности ВАХ.

Основные параметры варисторов:

коэффициент нелинейности, определяемый как отношение сопротивления постоянному току (статического) R к сопротивлению переменному току (дифференциальному) r:

, (2.1)

где U и I - напряжение и ток варистора.

Для различных типов варисторов  = 2…6;

максимальное допустимое напряжение Umax доп (от десятков вольт до нескольких киловольт);

номинальная мощность рассеяния Рном (1…3Вт);

температурный коэффициент сопротивления ТКС (в среднем 510-3К-);

предельная максимальная рабочая температура (60…70С).

Величина ТКС характеризует относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры на 1°К.

Рисунок 2.1 - Вольт - амперная характеристика варистора

Область применения варисторов: варисторы можно использовать на постоянном и переменном токе с частотой до нескольких килогерц. Они используются для защиты от перенапряжений, в стабилизаторах и ограничителях напряжения, в различных схемах автоматики.

## Терморезисторы

Терморезисторы - это полупроводниковые резисторы, в которых используется зависимость электрического сопротивления полупроводника от температуры.

Различают два типа терморезисторов: термистор, сопротивление которого с ростом температуры падает (с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления ТКС), и позистор, у которого сопротивление с повышением температуры возрастает (с положительным ТКС).

В термисторах (прямого подогрева) сопротивление изменяется или под влиянием тепла, выделяющегося в них при прохождении электрического тока, или в результате изменения температуры термистора при изменении теплового облучения термистора (например, при изменении температуры окружающей среды).

Уменьшение сопротивления полупроводника с увеличением температуры может быть обусловлено следующими причинами - увеличением концентрации носителей заряда и увеличением их подвижности.

Основная часть термисторов, выпускаемых промышленностью, изготовлена из поликристаллических окисных полупроводников - из окислов металлов.

Конструктивно термисторы оформляют в виде: цилиндров, стержней, дисков, пластин или бусинок и получают методами керамической технологии, т.е. путем обжига заготовок при высокой температуре.

Материалом для изготовления позисторов служит титан - бариевая керамика с примесью редкоземельных элементов. Такой материал обладает аномальной температурной зависимостью: в узком диапазоне температур (диапазоне температур выше точки Кюри) его удельное сопротивление увеличивается на несколько порядков с увеличением температуры.

Конструктивно позисторы оформляют аналогично термисторам.

Основные параметры термисторов:

номинальное сопротивление - это его сопротивление при определенной температуре (обычно 200С) (от нескольких Ом до нескольких кОм с допустимым отклонением от номинального сопротивления ±5, ±10 и ±20%);

температурный коэффициент сопротивления терморезистора показывает относительное изменение сопротивления терморезистора при изменении температуры на один градус:

 (2.2)

Температурный коэффициент сопротивления зависит от температуры, поэтому его записывают с индексом, указывающим температуру, при которой имеет место данное значение.

Значения ТКС при комнатной температуре различных термисторов находятся в пределах (0,8…6,0) 10-2К-1;

максимально допустимая температура - это температура, при которой еще не происходит необратимых изменений параметров и характеристик терморезистора;

допустимая мощность рассеяния - это мощность, при которой терморезистор, находящийся в спокойном воздухе при температуре 200С, разогревается при прохождении тока до максимально допустимой температуры;

постоянная времени терморезистора - это время, в течение которого температура терморезистора уменьшается в е раз по отношению к разности температур терморезистора и окружающей среды (например, при переносе терморезистора из воздушной среды с t = 1200C в воздушную среду с t = 200C).

Тепловая инерционность терморезистора, характеризуемая его постоянной времени, определяется конструкцией и размерами и зависит от теплопроводности среды, в которой находится терморезистор.

Для разных типов термисторов постоянная времени лежит в пределах от 0,5 до 140с.

Температурная характеристика терморезистора - это зависимость его сопротивления от температуры.

Рисунок 2.2 - Температурные характеристики терморезисторов: 1 - термистор; 2 – позистор

Терморезисторы (термисторы и позисторы) применяют для температурной стабилизации режима транзисторных усилителей, а также в различных устройствах измерения, контроля и автоматики (измерения контроля и автоматического регулирования температуры, температурной и пожарной сигнализации и др.).

## Тензорезисторы

Тензорезистор - это полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления от механической деформации.

Назначение - измерение давлений и деформаций.

Принцип действия полупроводникового тензоризистора основан на тензорезистивном эффекте - на изменении электрического сопротивления полупроводника под действием механических деформаций.

Для изготовления тензорезисторов чаще всего используют кремний с электропроводностью n - и p-типов. Заготовки такого кремния режут на мелкие пластинки, шлифуют, наносят контакты и присоединяют выводы.

Основные параметры тензорезисторов:

номинальное сопротивление тензорезистора - это сопротивление без деформации при t = 200C (обычно оно имеет величину от нескольких десятков до нескольких тысяч Ом);

коэффициент тензочувствительности - отношение относительного изменения сопротивления к относительному изменению длины тензорезистора:

. (2.3)

Для различных тензорезисторов К лежит в пределах от −100 до +200;

предельная деформация тензорезистора.

Деформационная характеристика - это зависимость относительного изменения сопротивления тензорезистора от относительной деформации.

Рисунок 2.3 - Деформационные характеристики тензорезисторов из кремния с электропроводностью р - и n – типов