



010802. Исследование электропроводности полупроводников.

Цель работы: Исследовать температурную зависимость электропроводности полупроводников.

Требуемое оборудование, входящее в состав модульного учебного комплекса МУК-ФОЭ1:

- | | |
|---|-------|
| 1. Блок амперметра-вольтметра АВ1 | 1 шт. |
| 2. Блок генератора напряжений ГН1 | 1 шт. |
| 3. Стенд с объектами исследования СЗ-ТТ01 | 1 шт. |
| 4. Соединительные провода с наконечниками Ш4-Ш1.6 | 6 шт. |

Краткое теоретическое введение

Терморезисторы представляет собой двухполюсники, сопротивление которых зависит от температуры. В зависимости от материала, из которого они сделаны, различают металлические и полупроводниковые терморезисторы.

Сопротивление терморезистора можно вычислить по следующей формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление образца
 l – длина образца
 S – площадь поперечного сечения образца
 σ – удельная электропроводность образца.

Электропроводность σ полупроводника зависит от концентрации свободных электронов n и их подвижности μ

$$\sigma = en\mu, \quad (2)$$

где e – заряд электрона;

Полупроводниковые терморезисторы в основном обладают отрицательным значением температурного коэффициента, т.е. при увеличении температуры сопротивление падает. Такое поведение может быть обусловлено различными причинами – увеличением концентрации носителей заряда или увеличением подвижности, а также фазовыми превращениями.

В собственных полупроводниках при абсолютном нуле в зоне проводимости носители заряда отсутствуют. С повышением температуры число носителей значительно возрастает. Подвижность носителей в области низких температур из-за рассеяния на ионах примеси пропорциональна $T^{3/2}$. В области высоких температур основное значение имеет рассеяние на тепловых колебаниях

решетки (фононах) и $\mu \sim T^{-3/2}$ т.е. подвижность с ростом температуры уменьшается. Но так как концентрация свободных носителей заряда с ростом температуры увеличивается значительно быстрее, чем уменьшается подвижность, то проводимость растет по закону:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right) = \sigma_0 \exp\left(-\frac{B}{T}\right), \quad (3)$$

где σ_0 - от температуры не зависит;

ΔE - энергия активация примеси (или ширина запрещенной зоны);

k – постоянная Больцмана;

$B = \frac{\Delta E}{2k}$ -коэффициент температурной чувствительности, который определяется структурой полупроводника и является характеристикой исследуемого материала.

Сопротивление полупроводников с ростом температуры убывает по экспоненциальному закону:

$$R = R_0 \exp\left(\frac{B}{T}\right), \quad (4)$$

где R_0 - условное сопротивление полупроводника при $T \rightarrow \infty$;

Большую часть полупроводниковых терморезисторов, выпускаемых промышленностью, изготавливают из поликристаллических оксидных полупроводников, в которых преобладает ионная связь. При образовании такого полупроводника в одинаковых кристаллографических положениях оказываются ионы с разными зарядами. Электропроводность оксидных полупроводников объясняется обменом электронами между этими ионами. Т.к. для перехода от одного иона к другому требуется небольшая энергия, то все электроны (дырки) можно считать свободными, а их концентрацию постоянной во всем рабочем диапазоне температур.

Из-за сильного взаимодействия носителей заряда с ионами подвижность носителей заряда в оксидном полупроводнике оказывается довольно низкой и экспоненциально возрастает с ростом температуры. В результате зависимость сопротивления оксидного полупроводника от температуры оказывается такой же, как у ковалентных полупроводников (формула 4), но она обусловлена не изменением концентрации свободных носителей изменением их подвижности.

Значение коэффициента температурной чувствительности B для полупроводниковых терморезисторов можно определить экспериментально, измерив сопротивления собственного полупроводника на линейном участке (рис. 1) при двух температурах T_1 и T_2 :

$$R_1 = R_0 \exp\left(\frac{B}{T_1}\right), \quad (5)$$

$$R_2 = R_0 \exp\left(\frac{B}{T_2}\right) \quad (6)$$

Деля почленно выражения (5) и (6) и затем, логарифмируя, получим:

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}. \quad (7)$$

Статическая вольт-амперная характеристика полупроводникового образца имеет ярко выраженный нелинейный характер. Типичный ее вид показан на рис.1. На ней можно выделить три основных участка: ОА, АВ, ВС. На участке ОА характеристика линейна, так как мощность, выделяющаяся в образце, мала и не изменяет его температуру. На участке АВ линейность нарушается, так как с повышением тока мощность рассеяния увеличивается, температура образца повышается, следовательно, сопротивление его уменьшается. При некотором значении тока кривая достигает максимума, и в небольшом интервале напряжение на образце остается постоянным, так как относительное увеличение тока становится равным вызванному им относительному понижению сопротивления. На участке ВС при дальнейшем увеличении тока уменьшение сопротивления оказывается столь сильным, что рост тока ведет к уменьшению напряжения на образце, и появляется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

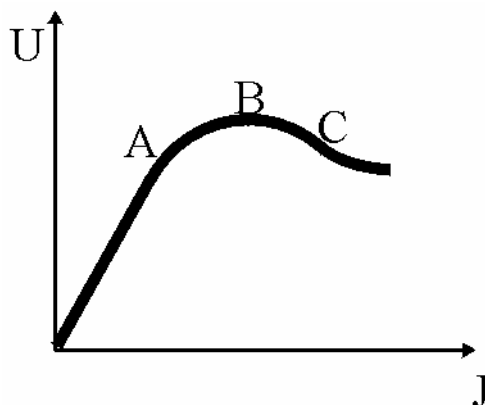


Рис.1

Резкая зависимость сопротивления полупроводника от температуры используется для устройства большого класса полупроводниковых терморезисторов или термисторов. Малые габариты, высокая механическая прочность и надежность, большой срок службы и высокая чувствительность терморезисторов определили широкое применение их в приборах для измерения и регулирования температуры, температурной компенсации элементов электрических цепей, измерения мощности электромагнитного излучения и т.д.

Методика проведения эксперимента

В стенде СЗ-ТТ02 установлен полупроводниковый оксидный терморезистор. Для нахождения сопротивления терморезистора можно воспользоваться методом амперметра-вольтметра по закону Ома.

$$R = \frac{U}{I} \quad (5)$$

Для проведения измерений электрическая схема представлена на рис. 1. В качестве источника применяется генератор тока, содержащийся в генераторе напряжений ГНЗ.

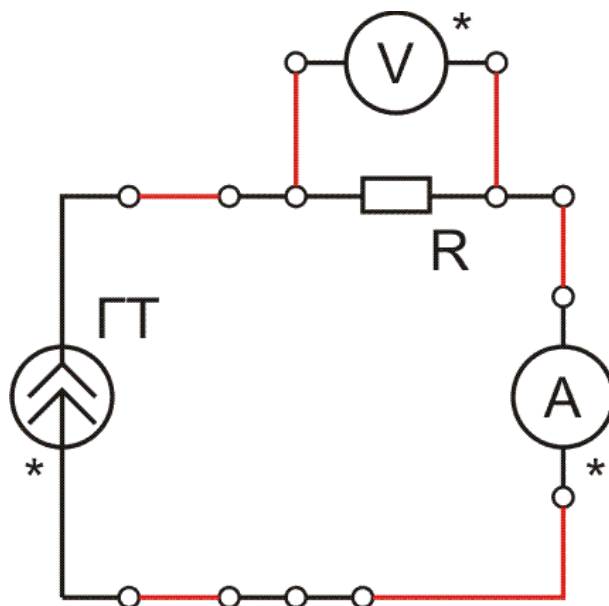


Рис. 2

Рекомендуемое задание

1. Снять ВАХ ($U=f(I)$) полупроводникового образца при двух различных температурах образца. Рекомендуемые значения температуры $T=300\text{K}$ и $T=360\text{K}$. Рекомендуемый диапазон изменения тока 0 – 5 мА. Построить графики.
2. Снять зависимость сопротивления полупроводникового образца от температуры $R=f(T)$ при постоянном токе $I=const$. Рекомендуемое значение 1 мА.
3. Построить зависимость $\ln R=f(1/T)$ и по формуле 5 рассчитать значение коэффициента температурной чувствительности B .

Примечание: Для быстрого охлаждения образца воспользуйтесь вентилятором.

Список используемых источников

1. Физика твердого тела: Методическое руководство к лабораторным работам №40-45 по физике. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2003. – 74 с.