

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова

Физический факультет
кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка
по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 70

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ
ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Лаб. работу поставила ст. преп. Овчинникова Т.Л.

Москва 2012 г.

Подготовил методическое пособие к изданию доц. Авксентьев Ю.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Цель работы - определение температурной зависимости электросопротивления и ширины запрещенной зоны ΔE полупроводников.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СООТНОШЕНИЯ

Известно, что электропроводность металлов $\sigma = en\mu$, где e - заряд электрона, n - концентрация, или число электронов в единице объема, μ - подвижность, т.е. отношение скорости упорядоченного движения электронов к величине напряженности электрического поля.

Для полупроводников электропроводность

$$\sigma = en\mu_n + ep\mu_p, \quad (1)$$

здесь n - концентрация свободных электронов, μ_n - их подвижность, p - концентрация дырок в валентной зоне, μ_p - подвижность дырок.

Температурная зависимость электропроводности любого материала определяется температурными зависимостями концентрации носителей тока и их подвижности.

И в полупроводниках, и в металлах подвижность носителей тока уменьшается с ростом температуры. Однако в металлах концентрация свободных электронов n неизменна и поэтому температурная зависимость электропроводности целиком определяется температурной зависимостью подвижности, т.е. с ростом температуры электропроводность металлов уменьшается.

В полупроводниках зависимость количества электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне описывается распределением Больцмана:¹

$$n = n_0 \exp\left(\frac{-\Delta E}{2kT}\right), \quad (2)$$

$$p = p_0 \exp\left(\frac{-\Delta E}{2kT}\right), \quad (3)$$

где ΔE - ширина запрещенной зоны, или энергия активации, k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура, n_0 и p_0 - концентрации электронов и дырок при $T = 0 \text{ K}$.

По сравнению с сильной зависимостью концентрации носителей тока от температуры, температурная зависимость подвижности μ полупроводников играет слабую роль. Таким образом, можно считать, что электропроводность полупроводников в первом приближении растет с увеличением температуры примерно по тому же закону, что и концентрация электронов и дырок (2), (3).

Экспериментально обычно определяется не электропроводность, а обратная ей

¹ Этой функцией, например, определяется зависимость числа частиц массы m в единице объема от высоты h в поле силы тяжести

величина ρ - удельное электросопротивление. Удельное электросопротивление связано с электропроводностью соотношением

$$\rho = 1/\sigma. \quad (4)$$

Тогда зависимость удельного электросопротивления от температуры будет иметь вид

$$\rho = const \cdot \exp^{(\Delta E/2kT)}. \quad (5)$$

Итак, в полупроводниках с ростом температуры электросопротивление быстро уменьшается (по экспоненциальному закону), в то время как в металлах оно относительно медленно растет (обычно по линейному закону).

Температурная зависимость электросопротивления полупроводников изображается обычно на графиках в полулогарифмических координатах. Если прологарифмировать выражение (5), то оно примет вид

$$\ln \rho = \ln const + \Delta E/2kT. \quad (6)$$

Откладывая на графике по оси ординат значения $\ln \rho$, а по оси абсцисс соответствующие значения $1/T$, получим прямую, для которой $\operatorname{tg} \alpha = \Delta E/2k$, где α - угол наклона этой прямой к оси абсцисс. Зная наклон прямой, получим важнейшую характеристику полупроводников - ширину запрещенной зоны

$$\Delta E = 2k \operatorname{tg} \alpha. \quad (7)$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Приборы и принадлежности: два цифровых вольтметра В7-27 (один - для измерения электросопротивления, другой - для измерения температуры); лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); амперметр; печь; стеклянная трубка с образцом.

Для нахождения температурной зависимости электросопротивления полупроводников, образец германия с нанесенными на нем контактами помещается в стеклянную трубку. Сопротивление образца измеряется с помощью вольтметра В7-27, который, кроме напряжений, позволяет измерять электросопротивление образцов. Стеклянная трубка с образцом вставляется в электронагревательную печь (на рис.1 дана схема питания электропечи).

Ток печи регулируется лабораторным автотрансформатором (ЛАТР) и измеряется амперметром. Температура образца определяется с помощью температурного датчика, расположенного в непосредственной близости от него (0,5 мм). Данный температурный датчик устроен таким образом, что на цифровом табло вольтметра В7-27, измеряющего температуру, сразу высвечиваются значения температуры в градусах Цельсия.

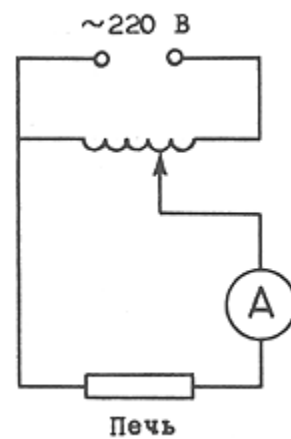


Рис. 1

Порядок измерений

1. Включите вольтметр *B7-27*, измеряющий электросопротивление образца, установив тумблер *СЕТЬ* в верхнее положение. При этом должны высветиться цифры индикаторного табло.
2. Установите переключатель рода работ и пределов измерений в положение *I Ω*.
3. Подсоедините к гнездам U_{\pm} , R и 0 вольтметра *B7-27*, измеряющего электросопротивление образца, измерительный кабель.
4. Включите вольтметр *B7-27*, предназначенный для измерения температуры образца, установив тумблер *СЕТЬ* в верхнее положение.
5. Соберите цепь электропечи согласно рис. 1 (Установите стрелку *ЛАТР*-а на нулевую отметку).
6. Включите печь, подсоединив клеммы *СЕТЬ 220 ЛАТР*-а к розетке *220 В*, находящейся на столе.

Указание: *Переключатель пределов измерений на амперметре, измеряющем ток печи, должен стоять в положении 1А.*

7. Ручкой *ЛАТР*-а установите ток печи *0,45 А* и нагрейте образец до температуры не ниже *75°C* (время нагрева около *30 мин*).
8. При данном значении тока печи снимите показания вольтметров, измеряющих электросопротивление образца и его температуру, занесите показания в табл.1.
9. Увеличивая ток в печи примерно на *0,03 А* и выдерживая каждую температуру *10 мин*, снимите температурную зависимость электросопротивления образца.

Указание: *Максимальное значение тока в печи не должно превышать 0,7 А.*

10. По окончании работы ручку *ЛАТР*-а установите в нулевое положение.
11. Установите тумблер *СЕТЬ* вольтметров *B7-27* в нижнее положение.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Зная электросопротивление образца и его размеры ($l = 1,11 \text{ см}$, $S = 0,17 \text{ см}^2$), определите удельное сопротивление образца германия при каждой исследуемой температуре ($\rho = R S / L$). Полученные значения занесите в табл.1.
2. Постройте график зависимости удельного электросопротивления ρ от абсолютной температуры T , откладывая по оси абсцисс значения T , а по оси ординат - ρ .
3. Постройте график, откладывая по оси ординат $\ln \rho$, а по оси абсцисс $1/T$.

Определите $tg\alpha$ ($tg\alpha = \frac{\Delta \ln \rho}{\Delta 1/T}$) угла наклона получившейся прямой к оси абсцисс.

4. По формуле (7) вычислите ширину запрещенной зоны ΔE исследуемого полупроводника².

5. Оцените погрешность полученного результата.

Таблица 1

J(A)	R (Ом)	ρ (Ом см)	$\ln \rho$	$T = t^0(C) + 273$ (К)	$1/T$ (К ⁻¹)
...					
...					
...					

Вопросы для самопроверки

1. Какова природа носителей тока в полупроводниках?
2. Запишите выражение, определяющее связь между удельным сопротивлением ρ и удельной проводимостью σ .
3. Дайте определение подвижности носителей тока в проводниках.
4. Дайте объяснение различному характеру зависимости сопротивления от температуры металлов и полупроводников.
5. Какой физический смысл имеет понятие - энергия активации полупроводников?

ЛИТЕРАТУРА

Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. Пособие. В 5 кн. Кн.5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц - 4-е изд., перераб. - М.: Наука. Физматлит. 1998. - 368 с.

Глава 8. Электропроводность металлов и полупроводников

§ 8.2. Энергетические зоны в кристаллах.

§ 8.6. Электропроводность полупроводников.

² Для того, чтобы получить значение величины ΔE в электрон-вольтах, нужно взять значение постоянной Больцмана $k = 8,62 \cdot 10^{-5}$ эВ/К.