



010801. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника.

Цель работы: Исследовать зависимость электропроводности полупроводника от температуры и по ней определить ширину запрещенной зоны.

Требуемое оборудование, входящее в состав модульного учебного комплекса МУК-ТТ1:

- | | |
|---------------------------------------------------|-------|
| 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

Зависимость концентрации носителей от температуры в первую очередь проявляет себя при исследовании электропроводности полупроводников σ . Электропроводность полупроводника определяется в общем случае двумя типами носителей заряда: $\sigma = e(n\mu_e + p\mu_p)$, где e – заряд электрона, μ_e и μ_p – подвижности электронов и дырок, соответственно. (Заметим, что подвижность определяет дрейфовую скорость \vec{V} носителей заряда: $\vec{V}_e = \mu_e \vec{E}$, $\vec{V}_p = \mu_p \vec{E}$.) Таким образом, от температуры могут зависеть только концентрация и подвижность. Очевидно, что подвижность тем выше, чем реже сталкиваются частицы, чем менее интенсивное рассеяние.

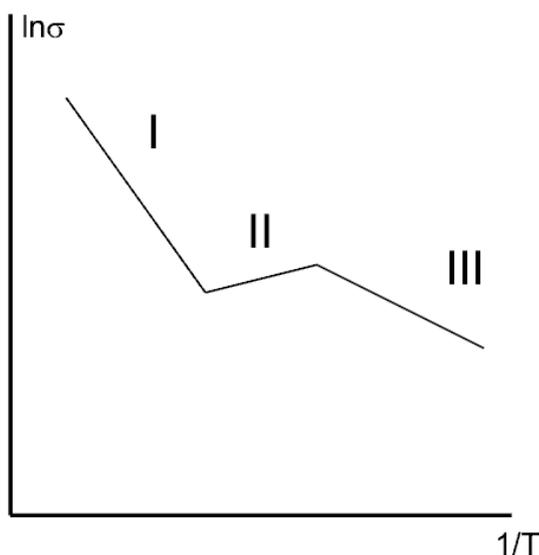


Рис.1

В полупроводниках возможны следующие механизмы рассеяния: рассеяние на ионах и нейтральных атомах примеси; на дефектах кристаллической структуры и в основном на

колебаниях решетки (фононах). Как показывают расчеты, зависимость подвижности от температуры можно представить себе как степенную функцию: $\mu \sim T^\alpha$, где α определяется видом рассеяния. Например, при рассеянии на акустических колебаниях решетки $\alpha = -3/2$. Естественно, что более сильная зависимость концентрации от температуры $\exp(\Delta E / 2k_b T)$ по сравнению с температурной зависимостью подвижности и определяет, прежде всего, зависимость проводимости от температуры. На рис.1 показана типичная зависимость логарифма электропроводности от обратной температуры. Линейные области соответствуют собственной проводимости I и примесной III. Область II – переходная область.

При относительно высоких температурах проводимость полупроводника в области собственной проводимости равна

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{2k_b T}\right), \quad (1)$$

где ΔE – ширина запрещенной зоны;

k_b – постоянная Больцмана;

T – температура.

Обычно экспериментально измеряются ток через образец, падение напряжения и температура. Поэтому удобнее пользоваться величиной сопротивления образца R

Учитывая, что $R = \rho l / S$, а $\rho = 1 / \sigma$, где ρ – удельное сопротивление, l – длина образца, S – площадь поперечного сечения, то из формулы (1) получаем

$$R = R_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{2k_b T}\right) \quad (2)$$

Логарифмируя выражение 2 и вычисля производную по $\frac{1}{T}$, получаем для ширины запрещенной зоны формулу

$$\Delta E = 2k_b \frac{d \ln R}{d\left[\frac{1}{T}\right]}. \quad (3)$$

Формула (3) позволяет рассчитать ширину запрещенной зоны полупроводника графически, вычисляя численное значение производной:

$$\frac{d \ln R}{d\left[\frac{1}{T}\right]} = \frac{\Delta \ln R}{\Delta\left[\frac{1}{T}\right]} \quad (4)$$

В таблице 1 приведены значения ширины запрещенной зоны $\Delta \epsilon$ для некоторых полупроводников.

Таблица 1

Материал	Ge	Si	CaAs	CdS	CdSe	PbS	InSb
$\Delta \epsilon$, эВ	0.72	1.12	1.42	2.42	1.70	0.41	0.17

Методика проведения эксперимента

Для определения ширины запрещенной зоны в стенде СЗ-ТТ01 установлен полупроводниковый образец. 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. 3. Т.к. измеряемое сопротивление R намного меньше внутреннего сопротивления вольтметра, то вольтметр подключен параллельно измеряемому сопротивлению.

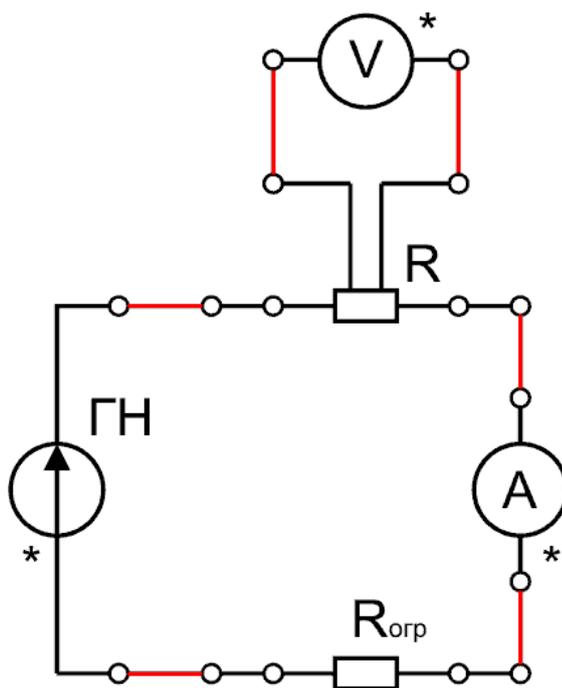


Рис. 2

Т.к. при нагревании сопротивление полупроводникового образца может уменьшиться в несколько раз, то необходимо в схеме использовать ограничивающее сопротивление $R_{огр}$.

Рекомендуемое задание к работе:

1. Снять значения напряжения, при постоянном токе $I = const$ при различных температурах в диапазоне от 290 до 390К. Рекомендуемое значение тока 1 мА.
2. Постройте график зависимости $\ln R$ от $1/T$.
3. На линейном участке полученного графика определите величину производной и пользуясь формулой (4), рассчитайте ширину запрещенной зоны полупроводника. По таблице 1 определите материал, из которого сделан образец.

Список используемых источников

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