

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ ПО КУРСУ «ФИЗИКА» Физика твердого тела.

Определение ширины запрещенной зоны полупроводника.

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

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: $\sigma = e(n_e \mu_e + n_p \mu_p)$, где e – заряд электрона, μ_e и μ_p – подвижности, n_e и n_p – концентрации 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.

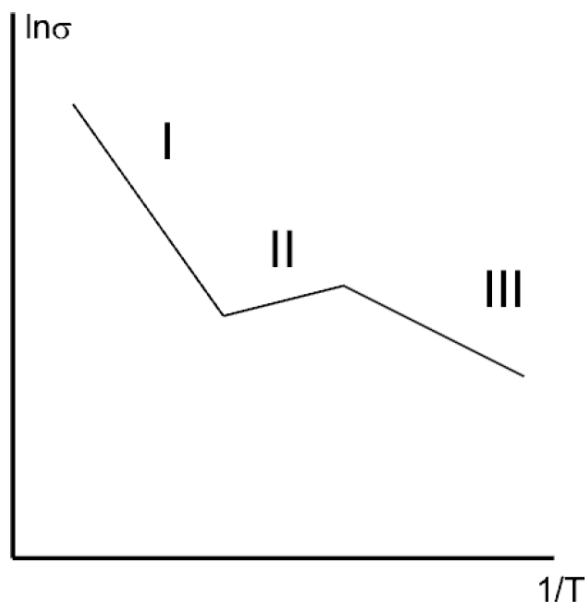


Рис.1

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 $\exp(\Delta E/2kT)$ 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:

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

где ΔE – ширина запрещенной зоны;

k – постоянная Больцмана;

T – температура.

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

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

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

Логарифмируя выражение (2) и вычисля производную по $1/T$, получаем для ширины запрещенной зоны формулу:

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

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 .. для некоторых полупроводников.

Таблица 1

Материал	Ge	Si	CaAs	CdS	CdSe	PbS	InSb
ΔE 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 законом Ома.

$$R = U/I \quad (5)$$

Для проведения измерений электрическая схема представлена на рис. 2. Т. к. измеряемое сопротивление R намного меньше внутреннего сопротивления вольтметра, то вольтметр подключен параллельно измеряемому сопротивлению.

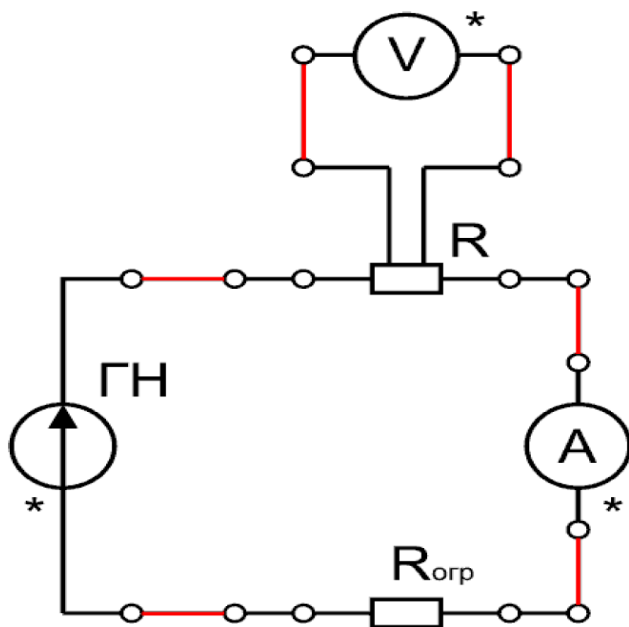
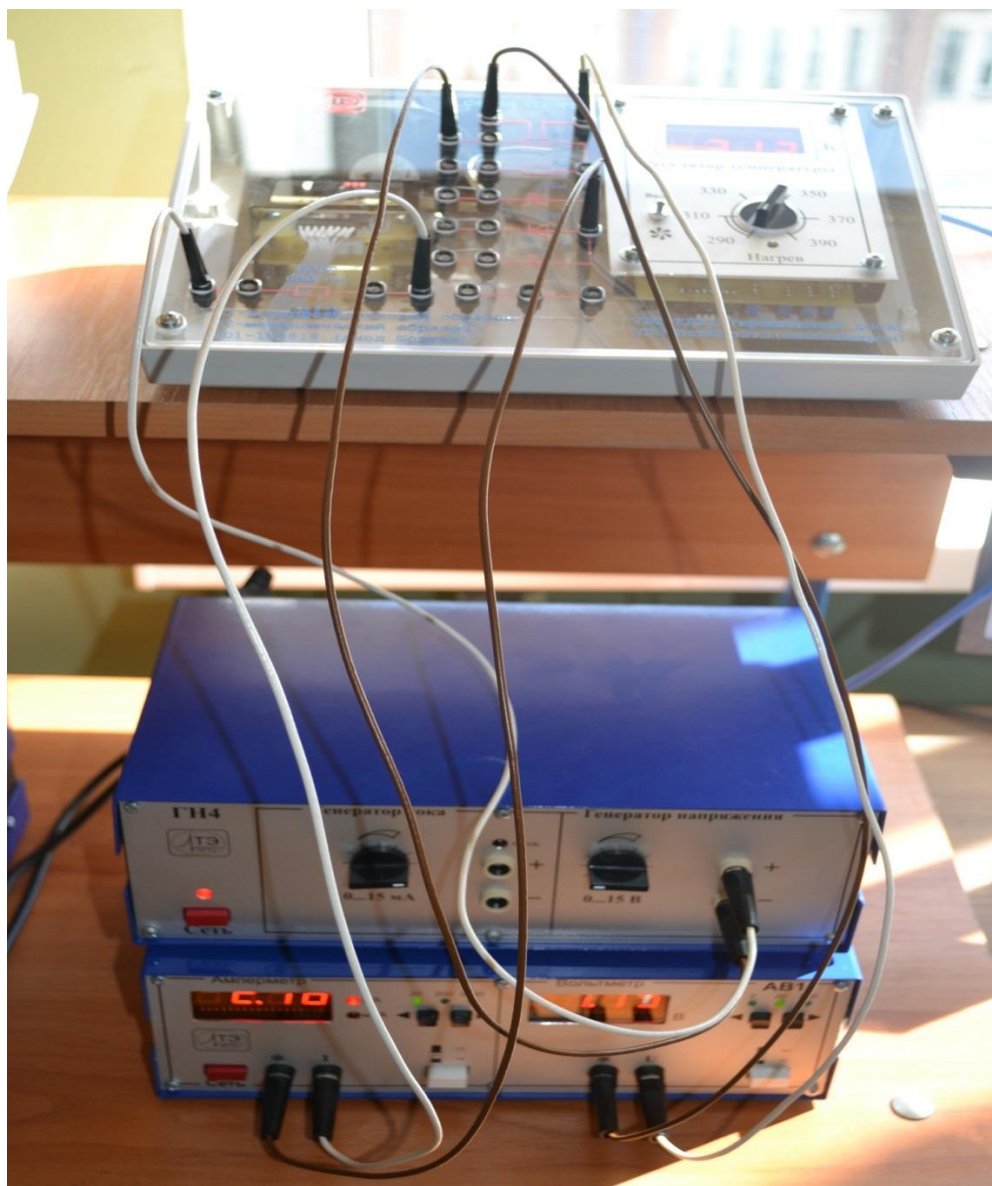


Рис. 2

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. Соберите схему:



2. Снимите значения напряжения, при постоянном токе $I = const$ при различных температурах в диапазоне от 300 до 390 К. Рекомендуемое значение тока 1 мА. Для уменьшения влияния изменяющейся нагрузки на величину выходного тока можно в цепь генератора ГН4 включить внутреннее сопротивление (680 Ом). На схеме оно включено. Рекомендуемые значения температуры от $T_1 = 300\text{K}$ до $T_2 = 390\text{K}$ с шагом 10 К. Занесите полученные данные в таблицу, вычислив сопротивление по формуле (5):

Измеряемые величины			Вычисляемые величины		
I, mA	U, B	T, K	R, Ом	1/T, K ⁻¹	lnR

3. Постройте график зависимости $\ln R$ от $1/T$.

4. 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.

Отчет по лабораторной работе оформляется либо на листах формата А4, либо на двойном листе из тетради в клетку. Отчет должен включать протокол измерений, подписанный преподавателем, проводившим занятие в лаборатории

Список рекомендуемой литературы:

1. А. А. Детлаф, Б. М. Яворский Курс физики.— 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр "Академия", 2009 .
2. В.В.Курепин, И.В. Баранов Обработка экспериментальных данных: Методические указания к лабораторным работам. – СПб, 2003.-57 с.