

Лабораторная работа № 6.1

Изучение зависимости сопротивления полупроводников от температуры и определение ширины запрещенной зоны полупроводника.

Принадлежности: Прибор для изучения температурной зависимости сопротивления полупроводников.

Цель работы: Используя температурную зависимость сопротивления полупроводника, определить ширину его запрещенной зоны.

Теоретические сведения.

Полупроводники – класс веществ, занимающих промежуточное положение между веществами, хорошо проводящими электрический ток (*проводниками*, в основном, это металлы), и веществами, практически не проводящими электрического тока (*диэлектриками*).

Однако характерной особенностью полупроводников является не величина удельного сопротивления ρ , а его сильная зависимость от температуры. Расчеты показывают, что проводимость (величина, обратная удельному сопротивлению) $\sigma = \frac{1}{\rho}$ полупроводников быстро растет с температурой, изменяясь по закону

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}. \quad (1)$$

Здесь ΔE – ширина запрещенной зоны, k – постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К, T – абсолютная температура, σ_0 – некоторая постоянная величина.

Покажем, как из формулы (1) можно определить ширину запрещенной зоны ΔE полупроводника. Пользуясь формулой сопротивления R для однородного по составу проводника при постоянном сечении S и длине l , получим

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}} S},$$

или

$$R = R^* e^{\frac{\Delta E}{2kT}}. \quad (2)$$

Здесь R^* – некоторая постоянная величина, имеющая размерность сопротивления. Поскольку в уравнении (2) слева и справа стоят величины одинаковой размерности (Ом), то R и R^* **можно рассматривать как числа**, равные сопротивлениям, и оперировать с ними, как с числами.

Прологарифмируем уравнение (2).

$$\ln R = \ln R^* + \frac{\Delta E}{2kT}. \quad (3)$$

Сравним полученное выражение (3) с известным уравнением

$$y = b + ax.$$

График этой зависимости хорошо известен. Это прямая линия, не проходящая через начало координат. Ее наклон $a = \operatorname{tg} \alpha$. (см рис. 1).

Если теперь представить уравнение (3) в виде

$$\ln R = b + a \frac{1}{T},$$

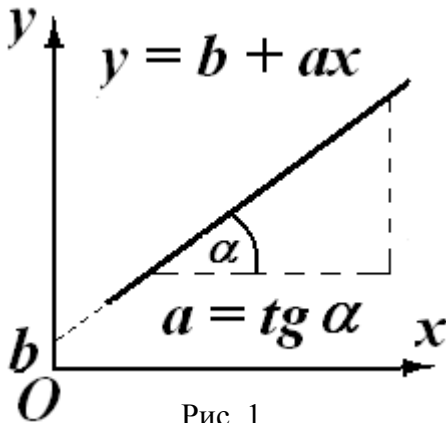


Рис. 1.

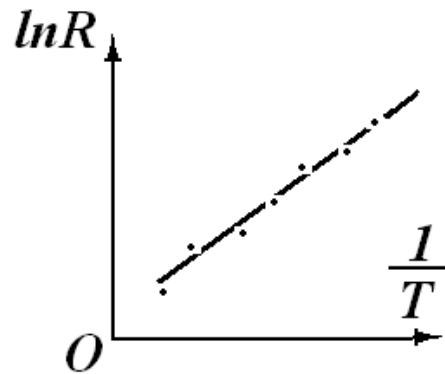


Рис. 2.

то можно построить аналогичный график, если откладывать на нем по оси абсцисс $1/T$, а по оси ординат $\ln R$. Получим также прямую линию (рис. 2).

Тангенс угла наклона этой прямой линии (будем его обозначать тоже буквой a)

$$a = \frac{\Delta E}{2k}.$$

Заметим, что если в случае $y = b + ax$ угловой коэффициент a является безразмерной величиной, то для уравнения (3) угловой коэффициент прямой линии – величина размерная, его размерность – кельвин (К).

Измеряя по графику a – тангенс угла наклона к оси абсцисс этой прямой, можно определить ширину запрещенной зоны ΔE .

$$\Delta E = 2k \cdot a. \quad (4)$$

Вывод. Если на опыте определить зависимость сопротивления R полупроводника от температуры, и изобразить результаты опыта на графике

$\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$, то тангенс угла наклона этой прямой позволит определить ширину запрещенной зоны полупроводника по формуле (4).

Описание установки.

Лабораторная установка состоит из электропечи с размещенными внутри нее исследуемыми образцами и измерительного устройства, соединенных кабелем (рис.6). **Электропечь** служит для нагревания образцов, температура которых измеряется датчиком температуры. На передней панели электропечи находится окно, через которое видны образцы в печи. На этой же панели помещены выключатель «СЕТЬ» и переключатель образцов «ОБРАЗЕЦ».

Положения переключателя: «1» – металл, «2» – сплав, «3» — полупроводник, «0» – вход закорочен.



На панели измерительного устройства расположены:

– жидкокристаллический индикатор (в верхней части – температуры в градусах Цельсия, t °С, в нижней – сопротивления в Ом, R Ohm), а также режимов работы (отображается в правом верхнем углу).
– кнопки «НАГРЕВ» и «ВЕНТ» – предназначены для включения и выключения (путем повторного нажатия) электропечи и вентилятора. При включенной печи на

индикаторе появляется надпись «WARM», при включенном вентиляторе – «COOL».

– кнопка «СТОП ИНД» – предназначена для включения и выключения (путем повторного нажатия) режима остановки индикации значений температуры и сопротивления при снятии показаний с индикаторов (в работе **не используется**).

Порядок выполнения работы.

1. Подключите сетевые шнуры в сеть и включите установку выключателями «СЕТЬ» на задней панели устройства измерения и передней панели электропечи (выполняет преподаватель). Дайте прогреться установке 3 – 5 минут.

2. Переключатель «ОБРАЗЕЦ» поставьте в положение «3». Нажмите кнопку «НАГРЕВ», при этом на индикаторе появится надпись «WARM», а в печи загорится лампочка.

3. Наблюдайте за показаниями индикатора. Рекомендуется нагревать образец до примерно 100°С, а затем охлаждать. По достижении температуры 95°С, выключите печь, повторно нажав кнопку «НАГРЕВ», при этом лампочка в печи должна погаснуть, и включите вентилятор для охлаждения кнопкой «ВЕНТ». Появляется надпись – «COOL».

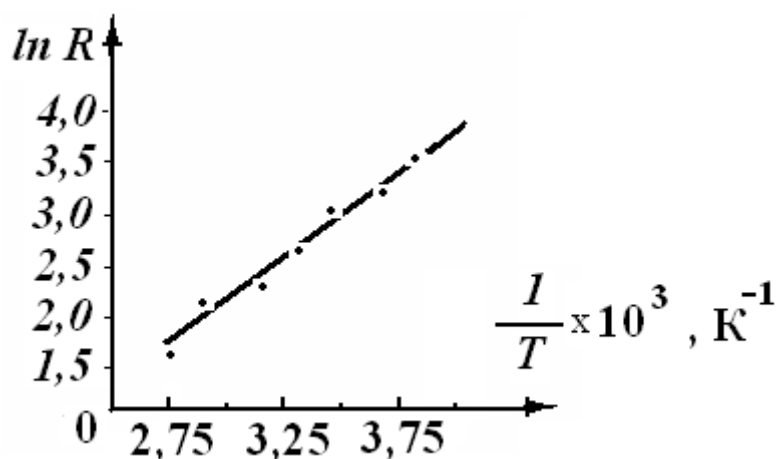
4. Через каждые 5°С при охлаждении записывайте одновременные показания температуры и сопротивления.

На этом эксперимент заканчивается. По окончании работы необходимо отключить питание установки выключателем «СЕТЬ».

5. Далее приступают к расчету. Переводят температуру в кельвины: $T = 273 + t$ °С и заносят в таблицу.

6. Рассчитывают $1/T$ и $\ln R$ и заполняют в таблице соответствующие колонки.

7. Выбирают масштаб, наносят точки и строят график по данным опыта. Один из вариантов приведен в качестве примера.



9. Определяют по графику угловой коэффициент (наклон a) прямой.
 10. По формуле (4) высчитывают ширину запрещенной зоны полупроводника. Ответ представляют в электрон-вольтах. $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Примечание: на сайте «ДВНЗ НГУ, кафедра физики, лабораторные работы» можно получить программу построения графика и вычисления наклона прямой. Программу разработала студентка гр. ЗИ-06 М. Щетовская.

Таблица.

N п/п	$t, ^\circ\text{C}$	T, K	$1/T \times 10^3, \text{K}^{-1}$	R	$\ln R$	$\text{tg } \alpha$	ΔE
				охлаждение			
1	100	373	2,68				
2.	95						
3.	90						
•	•	•	•	•			
•	•	•	•	•			
•	•	•	•	•			
16.	25						
17.	20						

Контрольные вопросы.

1. В чем сходство и в чем различие между картинками энергетических уровней изолированного атома и кристалла?
2. Какие вещества называются проводниками, диэлектриками и полупроводниками? Чем объясняется различие в их проводимости?
3. Какой вид имеет зависимость собственной проводимости полупроводника от температуры? Как объясняет зонная теория увеличение собственной проводимости полупроводников с повышением температуры?
4. Какую размерность имеет угловой коэффициент прямой линии $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$?
5. В каких единицах измеряют ширину запрещенной зоны полупроводника?

Литература

1. Кучерук И. М., Горбачук И.Т., Луцик П.П. Т.3. Оптика. Квантовая физика. К.: «Техніка», 2006, – 520 с.
2. Савельев И.В. Курс физики Т.3:Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. М.: «Наука», 1989, – 304с.
3. Гаркуша И.П. Элементы физики полупроводников : учеб пособие:– Д.: Национальный горный университет, 2012.– 74 с