

Лабораторна робота № 6.1

Вивчення залежності опору напівпровідників від температури і визначення ширини забороненої зони напівпровідника.

Приналежності: Прилад для вивчення температурної залежності опору напівпровідників.

Мета роботи: Використовуючи температурну залежність опору напівпровідника, визначити ширину його забороненої зони.

Теоретичні відомості

Перш, ніж приступати до вивчення даної лабораторної роботи, ознайомтеся з положеннями зонної теорії (див. Додаток № 6.0 до робіт з фізики твердого тіла).

Напівпровідниками є тверді тіла, які за $T = 0$ характеризуються повністю зайнятою електронами валентною зоною, відокремленою від зони провідності порівняно вузькою ($\Delta E \leq 1$ еВ) забороненою зоною.

Іноді речовини поділяють на провідники, напівпровідники і діелектрики за величиною питомого опору. За кімнатної температури:

$$\begin{aligned}\rho &= 10^{-8} \div 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м} && \text{– провідники,} \\ \rho &= 10^8 \div 10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м} && \text{– напівпровідники,} \\ \rho &= 10^9 \div 10^{17} \text{ Ом}\cdot\text{м} && \text{– ізолятори.}\end{aligned}$$

Напівпровідники - клас речовин, що займають проміжне положення між речовинами, що добре проводять електричний струм (провідниками, в основному, це метали), і речовинами, що практично не проводять електричного струму (діелектриками).

Проте характерною особливістю напівпровідників є не величина питомого опору, а його сильна залежність від температури. З точки зору зонної теорії при підвищенні температури зростає число електронів, які внаслідок теплового руху переходять в зону провідності і можуть брати участь у перенесенні електричного заряду.

Розрахунки показують, що провідність $\sigma = \frac{1}{\rho}$ чистих напівпровідників (тобто напівпровідників без домішок або власна провідність) підкоряється закону

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

Тут ΔE - ширина забороненої зони, k - стала Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К, T - абсолютна температура, σ_0 - деяка постійна величина.

Отже, провідність напівпровідників швидко зростає з температурою.

Покажемо, як з формули (1) можна визначити ширину забороненої зони ΔE напівпровідника. Користуючись формулою опору R для однорідного за складом провідника при постійному перерізі S і довжині l

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

з урахуванням виразу для провідності

$$\sigma = \frac{1}{\rho},$$

отримаємо

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

Або

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

Тут R^* - деяка постійна величина, що має розмірність опору. Оскільки в рівнянні (2) зліва і справа стоять величини однакової розмірності (Ом), то R і R^* можна розглядати як числа, рівні опорам, і оперувати з ними, як з числами. Логарифмуємо рівняння (2).

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

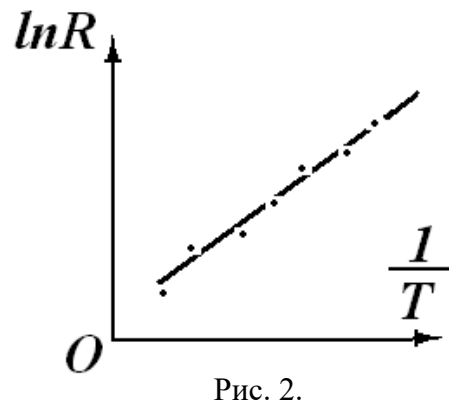
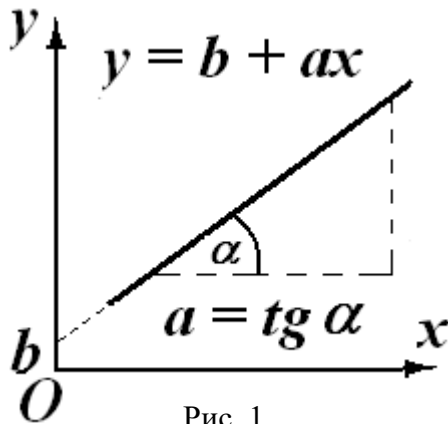
Порівняємо отриманий вираз (3) з рівнянням

$$y = b + ax.$$

Графік цієї залежності добре відомий. Це пряма лінія, що не проходить через початок координат. Її нахил $a = \operatorname{tg} \alpha$. (див рис. 1).

Якщо тепер уявити рівняння (3) у вигляді

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



то можна побудувати аналогічний графік, якщо відкласти на ньому по осі абсцис $1/T$, а по осі ординат $\ln R$. Отримаємо також пряму лінію (рис. 2).

Нахил цієї прямої лінії (будемо його позначати теж буквою a)

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

Зауважимо, що якщо в разі $y = b + ax$ кутовий коефіцієнт a є безрозмірною величиною, то для рівняння (3) кутовий коефіцієнт прямої лінії - величина розмірна, його розмірність - кельвін (К).

Вимірюючи за графіком a - тангенс кута нахилу до осі абсцис цієї прямої, можна визначити ширину забороненої зони ΔE .

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

Висновок. Якщо на досліді визначити залежність опору R напівпровідника від температури, і зобразити результати досліді на графіку $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$, то тангенс кута нахилу цієї прямої дозволить визначити ширину забороненої зони напівпровідника за формулою (4).

Опис установки.

Лабораторна установка складається з електропечі з розміщеними всередині неї зразками і вимірювального пристрою, з'єднаних кабелем (рис.6).

Електропіч служить для нагрівання зразків, температура яких вимірюється датчиком температури. На передній панелі електропечі міститься вікно, через яке видно зразки в печі. На цій же панелі поміщені вимикач «МЕРЕЖА» і перемикач зразків «ЗРАЗОК». Положення перемикача: «1» - метал, «2» - сплав, «3» - напівпровідник, «0» - вхід закорочений.



Рис. 3.

На панелі **вимірювального пристрою** розміщені:

- рідиннокристалічний індикатор (у верхній частині - температури в градусах Цельсія, t °С, в нижній - опори в Ом, R Ohm), а також режимів роботи (відображається в правому верхньому куті).

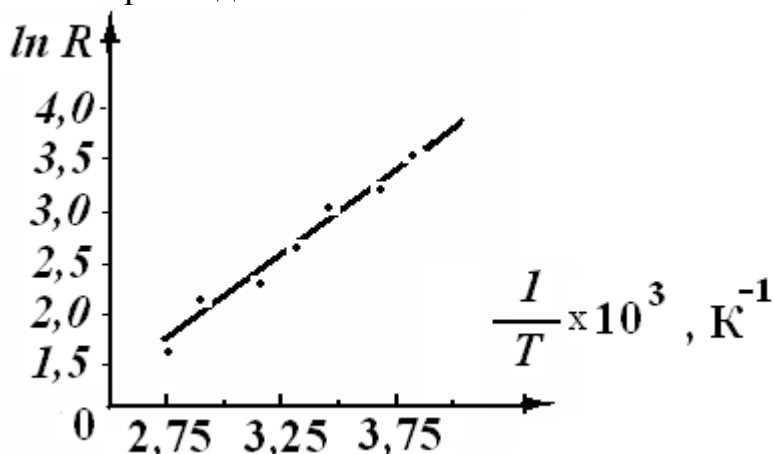
- кнопки «НАГРІВ» і «ВЕНТ» - призначені для включення і виключення (шляхом повторного натискання) електропечі і вентилятора. При увімкненій печі на індикаторі з'являється напис «WARM», при включеному вентиляторі - «COOL».
- кнопка «СТОП ІНД» - призначена для включення і виключення (шляхом повторного натискання) режиму зупинки індикації значень температури і опору при знятті показань з індикаторів (в роботі не використовується).

Порядок виконання роботи

1. Підключіть кабелі живлення в мережу і включіть установку вимикачами «МЕРЕЖА» на задній панелі пристрою вимірювання і передньої панелі електропечі (виконує викладач). Дати прогрітися установці 3 - 5 хвилин.
2. Перемикач «ЗРАЗОК» поставте в положення «3». Натисніть кнопку «НАГРІВ», при цьому на індикаторі з'явиться напис «WARM», а в печі засвітиться лампочка.
3. Спостерігайте за показаннями індикатора. Рекомендується нагрівати зразок до приблизно 100°C, а потім охолоджувати. Після досягнення температури 95°C, вимкніть піч, знов натиснувши кнопку «НАГРІВ», при цьому лампочка в печі повинна згаснути, і ввімкніть вентилятор для охолодження кнопкою «ВЕНТ». З'являється напис - «COOL».
4. Через кожні 5°C при охолодженні записуйте одночасні показання температури і опору.

На цьому експеримент закінчується. Після закінчення роботи необхідно вимкнути живлення установки вимикачем «МЕРЕЖА».

5. Далі приступають до розрахунку. Переводять температуру в кельвіни: $T = 273 + t^{\circ}\text{C}$ і заносять в таблицю.
6. Розраховують $1/T$ і $\ln R$ і заповнюють в таблиці відповідні колонки.
7. Вибирають масштаб, наносять точки і будують графік за даними досліду. Один з варіантів наведено як приклад.



9. Визначають за графіком кутовий коефіцієнт (нахил a) прямої.
10. За формулою (4) вираховують ширину забороненої зони напівпровідника. Відповідь представляють в електрон-вольтах. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{19} \text{ Дж}$.

Примітка. В електронному читальному залі бібліотеки НТУ «ДП» або на сайті кафедри фізики, «лабораторні роботи» можна отримати програму побудови гра-

фіка і обчислення нахилу прямої. Програму розробила студентка гр.ЗІ-06 М. Щетовська.

Таблиця.

| N п/п | t, °C | T, K | 1/T x 10 ³ K ⁻¹ | R | ln R | tg α | ΔE |
|-------|-------|------|--|-------------|------|------|----|
| | | | | охолодження | | | |
| 1 | 100 | 373 | 2,68 | | | | |
| 2. | 95 | | | | | | |
| 3. | 90 | | | | | | |
| • | • | • | • | • | | | |
| • | • | • | • | • | | | |
| • | • | • | • | • | | | |
| 16. | 25 | | | | | | |
| 17. | 20 | | | | | | |

Контрольні питання

1. У чому схожість і в чому відмінність між картинами енергетичних рівнів ізоляваного атома і кристала?
2. Які речовини називаються провідниками, діелектриками і напівпровідниками? Чим пояснюється відмінність в їх провідності?
3. Який вигляд має залежність власної провідності напівпровідника від температури? Як пояснює зонна теорія збільшення власної провідності напівпровідників з підвищенням температури?
4. Яку розмірність має кутовий коефіцієнт прямої лінії?
5. В яких одиницях вимірюють ширину забороненої зони напівпровідника?

Література

1. Кучерук І. М., Горбачук І.Т, Луцик П.П.. Т.3. Оптика. Квантова фізика. К. ; «Техніка», 2006, - 520 с.
2. Савельєв І.В. Курс фізики Т.3: Квантова оптика. Атомна фізика. Фізика твердого тіла. Фізика атомного ядра та елементарних частинок. М. : «Наука», 1989, - 304с.
3. Гаркуша І.П. Элементы физики полупроводников. : учеб пособие: – Д.: НГУ, 2012. – 77 с

Укладач І.П.Гаркуша