

Лабораторна робота 2

ВИВЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПОРУ НАПІВПРОВІДНИКІВ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

ЦІЛЬ: експериментальне вивчення залежності і напівпровідників від температури і вимір температурних коефіцієнтів опору.

Основні положення теорії

З погляду здатності проводити електричний струм всі речовини діляться на три класи: провідники, напівпровідники і діелектрики (ізолятори). Електричний опір напівпровідників займає проміжне значення між опором металів і діелектриків. Питома електропровідність (або просто провідність) металів (σ) має порядок 10^{10} (Ом*см)⁻¹, діелектриків менше 10^{-10} (Ом*см)⁻¹, напівпровідників $10^{-10} \dots 10^4$ (Ом*см)⁻¹. Питомий опір провідників залежить від провідності: $\rho = \frac{1}{\sigma}$. Для металів питомі опори мають значення порядку $10^{-6} \dots 10^{-4}$ (Ом*см).

Фундаментальним законом у цій області є закон Ома (у локальній формі), який можна записати у вигляді:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}, \quad (2.1)$$

де \vec{j} - вектор густини струму,

\vec{E} - вектор напруженості електричного поля усередині провідника.

Формула (2.1) називається законом Ома в диференційній формі. Для обчислення сили струму, що проходить по провіднику необхідно знати швидкість, яку мають електрони під дією електричного поля. Ця швидкість ($V_{др}$) називається дрейфовою, і хоча вона набагато менше швидкості теплового хаотичного руху електронів, саме дрейфова швидкість визначає силу струму в провіднику. Дрейфова швидкість — це середня швидкість спрямованого руху носіїв заряду. Якщо концентрація носіїв струму дорівнює n , то густина струму дорівнює:

$$\vec{j} = n \cdot e \cdot \vec{V}_{др}, \quad (2.2)$$

де e - елементарний електричний заряд.

Середня дрейфова швидкість носіїв струму прямо пропорційна зовнішньому електричному полю:

$$\vec{V}_{op} = \mu \cdot \vec{E}, \quad (2.3)$$

де μ - коефіцієнт пропорційності, названий “рухливість носіїв струму”. З формули (3) видний фізичний зміст рухливості: рухливість носіїв струму чисельно дорівнює дрейфовій швидкості носіїв в електричному полі одиничної напруженості. Рухливість носіїв є константою даного матеріалу і залежить від температури.

Відповідно до квантової теорії електропровідності провідність твердого тіла визначається наступним співвідношенням:

$$\sigma = e \cdot n \cdot \mu. \quad (2.4)$$

Рухливість носіїв заряду визначається по цій теорії наступним чином:

$$\mu = \frac{e \cdot \langle \lambda \rangle}{m_e^* \cdot \langle V \rangle}, \quad (2.5)$$

де $\langle \lambda \rangle$ - середня довжина вільного пробігу електрона;

m_e^* - ефективна маса електрона в металі;

$\langle V \rangle$ - середня загальна швидкість руху електронів, рівна сумі середньої швидкості теплового хаотичного руху і дрейфової швидкості ($\langle V \rangle = \langle V_{хаот} \rangle + \langle V_{др} \rangle$), при цьому звичайно $\langle V_{др} \rangle \ll \langle V_{метл} \rangle$.

Фізичною причиною виникнення опору електричного струму є взаємодія електронів з реальним кристалічним середовищем, у якому рухаються електрони. При цьому відповідно до квантової теорії провідності зіткнення електронів (розсіювання електронних хвиль) відбуваються з якими-небудь порушеннями періодичної структури кристалу: тепловими коливаннями, домішковими атомами, дислокаціями, границями зерен і інших дефектів. Тому $\langle \lambda \rangle$ в 100...1000 разів більше, ніж відстань між атомами металу.

Розглянемо, який характер температурної залежності провідності випливає з формул (2.4) і (2.5). Величина $\langle V \rangle$ для металів (у них електронний

газ вироджений) має сенс швидкості електронів, які можуть прискорюватися під дією електричного поля. Це електрони, які мають енергію, близьку до енергії рівня Фермі, тобто енергії, що володіють електрони в металі при абсолютному нулі ($V = V_{\phi}$). Тому що концентрація електронів у металах практично не залежить від температури, то температурна залежність провідності в цьому випадку визначається температурною залежністю рухливості носіїв заряду (2.4). Швидкість електронів на рівні Фермі приблизно на порядок більше, ніж середня швидкість теплового руху, і дуже слабо залежить від температури, тому із всіх величин, що входять у формулу (5), у металах тільки величина $\langle \lambda \rangle$ проявляє суттєву залежність від температури.

Залежність $\langle \lambda \rangle$ від температури пояснюється тим, що чим інтенсивніше теплових рух, тим більше ймовірність розсіювання електронів на кристалічній ґратці і тим менше довжина вільного пробігу електрона ($\langle \lambda \sim \frac{1}{T} \rangle$). Звідси виходить: $\sigma \sim \frac{1}{T}$ і $\rho \sim T$.

Таким чином, опір металевого провідника прямо пропорційний температурі:

$$R = R_0 [1 + \alpha(t - 20)], \quad (2.6)$$

де R_0 - опір металевого провідника при 20°C ;

t - температура, $^\circ\text{C}$;

α - температурний коефіцієнт опору металу.

При низькій температурі, що набагато менше кімнатній, у дію вступають інші механізми розсіювання електронів і функціональний характер залежності змінюється, залежність $R(T)$ стає нелінійною ($\rho \sim T^5$).

Нагадаємо, що для не виродженого електронного газу $\langle V \rangle$, рівна середньої швидкості руху електронів, обчислюється по відомій формулі молекулярно-кінетичної теорії газів:

$$V = \sqrt{\left(\frac{8kT}{\rho m_e}\right)} \quad (2.7)$$

Порядок виконання роботи:

1. Зібрати вимірювальну установку
2. Омметром виміряти опір зразка кремнію в залежності від температури.
Вимірювання проводити при температурі від 50К до 400К
3. Дані експерименту й розрахунків занести в таблицю 2.1

$$S=12 \text{ см}^2; l=4\text{см}$$

T, K	R, Ом	ρ , Ом/см	n, см ⁻³	σ , (Ом*см) ⁻¹	σ , *10 ⁻³ (Ом*см) ⁻¹	ln σ
400	1,02					
385	10,5					
370	106,8					
330	106,8					
125	106,9					
110	132,6					
85	212,6					
70	265,22					
62	1060,8					
50	2121,6					

4. Побудувати графік залежності ln σ від 1/T
5. Визначити ширину забороненої зони напівпровідника за графіком
6. Зробити висновки