

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра загальної фізики

ЗВІТ

про виконання лабораторної роботи № 30

Назва роботи «визначення ширини забороненої зони напівпровідників з температурної залежності їх провідності»

Виконав: Марущак А.С.

студент групи ПЗ-15

інституту ІКНІ

Лектор: доцент Рибак О.В

Керівник лабораторних занять:

Ільчук Г.А.

Львів - 2022

Мета роботи: Оволодіти методикою визначення ширини забороненої зони напівпровідників з температурної залежності їх провідності

Прилади та матеріали: Зразок власного напівпровідника з електричними контактами, цифровий мілівольтметр, цифровий прилад для вимірювання опору, автотрансформатор, резистивний нагрівник, термопара

Короткі теоретичні відомості:

Як відомо, для власних напівпровідників залежність питомої провідності σ від температури T описується виразом $\sigma = \sigma_{\infty} e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}$. Цю залежність можна подати так:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_{\infty} - \frac{\Delta E}{2kT},$$

Де σ_{∞} - питома провідність власного напівпровідника при $T \rightarrow \infty$; ΔE - ширина забороненої зони напівпровідника; k - стала Больцмана.

Остання формула описує пряму $\ln \sigma = f\left(\frac{1}{T}\right)$, тангенс кута нахилу якої до осі абсцис дорівнює: $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta E}{2k}$. Тому ширину E забороненої зони власного напівпровідника можна визначити із співвідношення:

$$\Delta E = 2k \cdot \operatorname{tg} \alpha = 2k \cdot \frac{\ln \sigma_1 - \ln \sigma_2}{\left| \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right|}$$

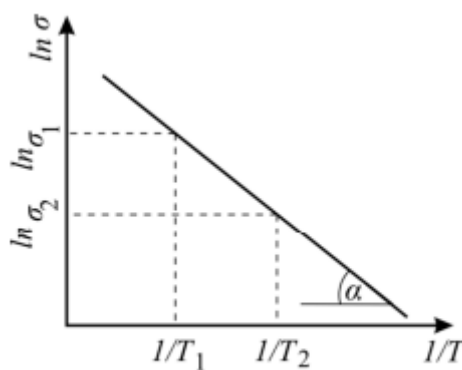


Рис. 1

В даній лабораторній роботі використовується лабораторна установка, яка схематично наведена на рис. 2.

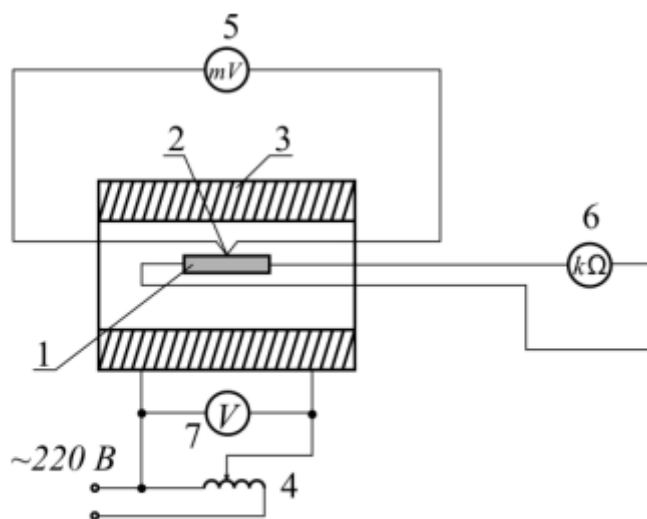


Рис . 2

Напівпровідниковий зразок 1 розміщений всередині нагрівного елемента 3. Живлення нагрівного елемента здійснюється від автотрансформатора 4, увімкненого в мережу 220 В. Напруга на нагрівнику контролюється вольтметром 7. Для вимірювання температури використовується термопара 2 хромель–копель, яка під'єднана до мілівольтметра 5. Опір досліджуваного зразка вимірюється за допомогою цифрового приладу 6 для вимірювання опору.

Досліджуваний зразок має форму паралелепіпеда довжиною $L = 3$ мм та площею поперечного перерізу $S = 0,1 \text{ мм}^2$. Питому провідність зразка розраховують за даними вимірювання його опору R та відомими значеннями довжини зразка і площі його поперечного перерізу, використовуючи формулу

$$\sigma = \frac{L}{R \cdot S}$$

Контрольні запитання

1. Поясніть як утворюються енергетичні зони в кристалах?

При зближенні ізолюваних атомів і утворення з них кристалу, що складається з N атомів, кожний окремий атом взаємодіє з своїми сусідами, що приводить до появи в кристалі N близько розміщених один від одного підрівнів, які утворюють енергетичну зону. Найбільший вплив поле ґратки чинить на зовнішні валентні електрони атомів. Тому стани цих електронів в кристалі відчувають найбільші зміни, а енергетичні зони, які утворені з енергетичних рівнів цих електронів, виявляються найбільш широкими. Внутрішні ж електрони, які сильно зв'язані з ядром, відчувають лише незначні

збурення від інших атомів, внаслідок чого їх енергетичні рівні в кристалі залишаються практично такими ж вузькими, як і в ізольованих атомах

2. Як розуміти терміни валентна зона, зона провідності, заборонена зона з точки зору зонної теорії?

Найвища зона, яка цілком заповнена електронами при $T=0$ К, називається **валентною зоною**.

Зона, яка заповнена електронами частково або вільна від електронів при $T=0$ К, називається **зоною провідності**.

Зони дозволених енергій розділені областями заборонених енергій – **забороненими зонами**.

3. Які речовини називаються провідниками, діелектриками і напівпровідниками?

Провідник — матеріал, що проводить електричний струм. Для провідника характерні високі тепло- або електропровідність. Найчастіше провідник є речовиною, яка має багато вільних електронів.

Діелектрики — речовини, що не проводять електричний струм і питомий опір яких становить $10^8 \dots 10^{17} \text{ Ом} \cdot \text{см}$. У таких речовинах заряди не можуть пересуватися з однієї частини в іншу. Зв'язаними зарядами є заряди, що входять до складу атомів або молекул діелектрика, заряди іонів, в кристалах з іонною ґраткою.

Напівпровідники — матеріали, електропровідність яких має проміжне значення між провідностями провідника та діелектрика. Відрізняються від провідників сильною залежністю питомої провідності від концентрації домішок, температури та різних видів випромінювання.

4. Який напівпровідник називається власним? Домішковим?

Власними напівпровідниками є хімічно чисті напівпровідники, їх провідність називається власною провідністю.

Провідність напівпровідників, яка зумовлена домішками, називається домішковою провідністю, а самі напівпровідники – **домішковими напівпровідниками**.

5. Чим зумовлена провідність власного і домішкового напівпровідників?

Провідність власних напівпровідників може бути зумовлена електронами і дірками.

Провідність власних напівпровідників, яка зумовлена електронами, називається електронною провідністю або провідністю n– типу.

Провідність власних напівпровідників, зумовлена дірками, називається дірковою провідністю або провідністю р-типу

В домішкових напівпровідниках провідність може бути також зумовлена електронами і дірками.

в напівпровідниках з домішкою, валентність якої на одиницю більша, ніж валентність основних атомів, носіями струму є електрони, виникає електронна домішкова провідність п-типу. Напівпровідники з такою провідністю називаються електронними (n-типу).

в напівпровідниках з домішкою, валентність якої на одиницю менша, ніж валентність основних атомів, носіями струму є дірки – виникає діркова провідність. Напівпровідники з такою провідністю називаються дірковими (р-типу)

6. Чим пояснюється зміна концентрації вільних носіїв заряду у власних напівпровідниках від температури?

У напівпровідниках поряд з процесом генерації електронів і дірок відбувається і процес рекомбінації: електрони переходять із зони провідності у валентну зону, віддаючи енергію ґратці або випускаючи кванти електромагнітного випромінювання. Цим і пояснюється, що в результаті для кожної температури у власному напівпровіднику встановлюється певна рівноважна концентрація електронів і дірок.

7. В чому полягає суть методики визначення ширини ΔE забороненої зони напівпровідників з температурної залежності їх провідності? Ми вимірюємо питому провідність напівпровідника при 2 різних температурах. Потім, використовуючи робочу формулу

$$\Delta E = 2k \cdot \operatorname{tg} \alpha = 2k \cdot \frac{\ln \sigma_1 - \ln \sigma_2}{\left| \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right|}$$

Обчислюємо ΔE . Геометрично вираз після $2k$ означатиме тангенс кута нахилу прямої $\ln \sigma = f\left(\frac{1}{T}\right)$ до осі абсцис.

Задані величини:

$$L = 3 \text{ мм}$$

$$S = 0,1 \text{ мм}^2$$

Робоча формула:

$$\Delta E = 2k \cdot \operatorname{tg} \alpha = 2k \cdot \frac{\ln \sigma_1 - \ln \sigma_2}{\left| \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right|}$$

$$\sigma = \frac{L}{R \cdot S}$$

Хід роботи

1. Вмикаю цифровий мілівольтметр 5 та прилад 6 для вимірювання опору в мережу 220 В.
2. Регулятор вихідної напруги на автотрансформаторі 4 встановлюю в положення "І". Вмикаю автотрансформатор в мережу 220 В. Через кожні ~10 хв послідовно переміщаю регулятор напруги в положення 2, 3, 4, ... 8.
3. Проводжу вимірювання опору досліджуваного зразка при різних значеннях температури через кожні 0,2 мВ за показами мілівольтметра. Нагрівання здійснюю до температури, яка вказана на робочому місці.
4. Користуючись графіком градування термопары визначаю температуру досліджуваного зразка напівпровідника.
5. Встановлюю регулятор вихідної напруги на автотрансформаторі в положення «0»
6. Вимикаю автотрансформатор і прилади з мережі 220 В.
7. За отриманими значеннями опору напівпровідникового зразка розраховую величину його питомої провідності σ і $\ln \sigma$ для різних температур, використовуючи співвідношення.
8. Будує графік залежності $\ln \sigma = f(\frac{1}{T})$. Вибрати на графіку ділянку, де найбільше проявляється пряма лінія, і для довільно вибраних значень $\frac{1}{T_1}$ і $\frac{1}{T_2}$ знайти відповідні значення $\ln \sigma_1$ та $\ln \sigma_2$.
9. Обчислюю ширину ΔE забороненої зони досліджуваного напівпровідника за формулою.
10. Аналізую отримані результати та роблю висновки.

Таблиця результатів

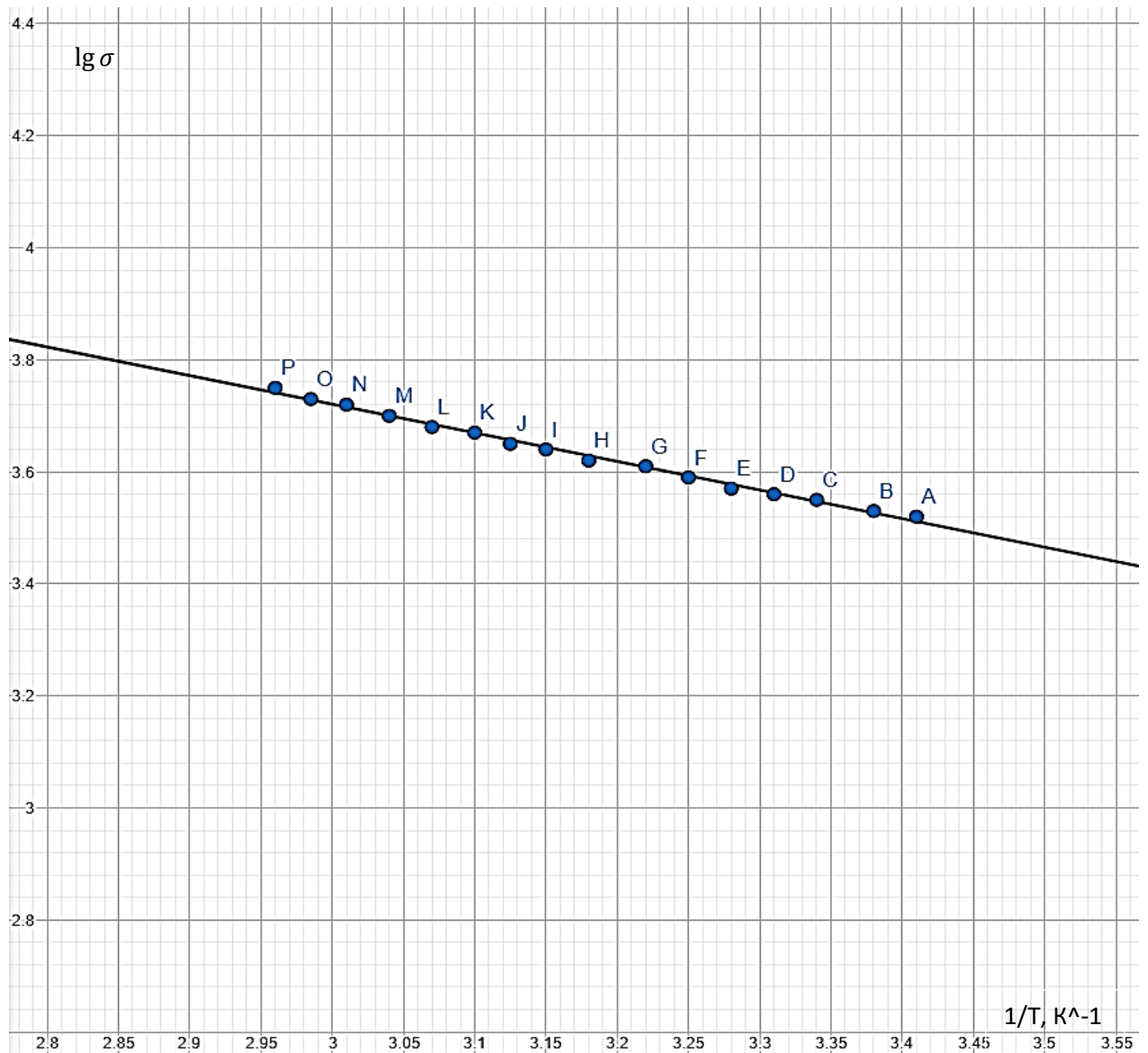
Табл 1.

№ п/п	E_T , мВ	t , °C	T , K	T^{-1} , $10^{-1} K^{-1}$	R , Ом	σ , Ом $^{-1}$ · м $^{-1}$	$\ln \sigma$	ΔE , еВ
1	0	20	293	3.41	886	33.86	3.52	0.08625
2	0.2	23	296	3.38	877	34.2	3.53	
3	0.4	26	299	3.34	860	34.88	3.55	
4	0.6	29	302	3.31	851	35.25	3.56	

5	0.8	32	305	3.28	840	35.71	3.57
6	1	35	308	3.25	827	36.28	3.59
7	1.2	38	311	3.22	815	36.81	3.61
8	1.4	41	314	3.18	803	37.36	3.62
9	1.6	44	317	3.15	791	37.93	3.64
10	1.8	47	320	3.125	779	38.51	3.65
11	2	50	323	3.10	767	39.11	3.67
12	2.2	53	326	3.07	755	39.74	3.68
13	2.4	56	329	3.04	742	40.43	3.7
14	2.6	59	332	3.01	730	41.1	3.72
15	2.8	62	335	2.985	718	41.78	3.73
16	3	65	338	2.96	705	42.55	3.75

Графік

Так як ми маємо лінійну залежність, то використаємо апроксимацію лінійним поліномом і отримаємо наступний графік



Наочно можна бачити, що найбільша точність досягається у точках М і G, тому братимемо значення в них.

Обчислення

Табл 1.

$$\sigma_1 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{886 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 33.86 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_2 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{877 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 34.21 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_3 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{860 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 34.88 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_4 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{851 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 35.25 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_5 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{840 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 35.71 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_6 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{827 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 36.28 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_7 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{815 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 36.81 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_8 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{803 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 37.36 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_9 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{791 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 37.93 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_{10} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{779 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 38.51 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_{11} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{767 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 39.11 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_{12} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{755 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 39.74 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_{13} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{742 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 40.43 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_{14} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{730 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 41.1 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_{15} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{718 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 41.78 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma_{16} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{705 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 42.55 \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$$

$$\Delta E = 2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{3.7 - 3.61}{3.22 \cdot 10^{-3} - 3.04 \cdot 10^{-3}} = 1.38 \cdot 10^{-20} \text{ Дж} \\ = 0.08625 \text{ eВ.}$$

Висновок: Виконавши цю лабораторну роботу, ми оволоділи методикою визначення ширини забороненої зони напівпровідників з температурної залежності їх провідності, ознайомились з явищем напівпровідності. Ми отримали, що енергія забороненої зони досліджуваного провідника становить 0.08625 eВ.