

Індивідуальні завдання Теми рефератів

1. Методи дослідження структури кристалів (рентгенівська дифракція, електронна дифракція).
2. Методи дослідження складу поверхні і тонких плівок (зворотне розсіювання швидких іонів, ВИМС, оже-електронна спектроскопія).
3. Методи отримання тонких провідних плівок в технології виробів мікроелектроніки.
4. Історія відкриття і дослідження надпровідності, застосування надпровідників.
5. Високотемпературні надпровідники і перспективи їх застосування. Історія вивчення напівпровідникових матеріалів.
7. Методи вирощування монокристалів.
8. Поняття про епітаксію, методи отримання епітаксійних плівок.
9. Ефект Холла і його використання для вивчення властивостей матеріалів.
10. Ефект Ганна і прилади на його основі.
Аморфні напівпровідники і прилади на їх основі.
12. Органічні напівпровідники і можливості їх застосування в електронній техніці.
13. Широкозонні напівпровідники і прилади на їх основі.
14. Поняття про гетероперехідах. Створення гетеропереходов і їх застосування в приладах.
15. Матеріали для перетворення світлової енергії в електричну.
16. Тверді розчини на основі напівпровідникових з'єднань A_3B_5 та їх застосування.
17. Властивості і застосування напівпровідникових з'єднань A_2B_6 .
18. Матеріали для оптоелектроніки.
19. Пористий кремній: отримання і застосування.
20. Матеріали для напівпровідникових лазерів.
21. Квантові ями, нитки і точки: що це таке?
22. Полімерні діелектрики для нових приладів електронної техніки.
23. Ситалли і їх застосування у виробках електронної техніки.
24. Скло як активне середовище для генерації лазерного випромінювання.
25. Вуглецеві нанотрубки: властивості, отримання та застосування в електронних приладах.
26. Рідкі кристали та їх застосування в системах відображення інформації.
27. Матеріали для акустоелектричних приладів.
28. Матеріали для волоконно-оптичних ліній зв'язку.
29. П'єзоелектрична кераміка і її застосування.
30. Матеріали для магнітоелектроніки.

Вирішити задачі за темами та варіантами

Таблиця 1 – Номери розв'язуваних задач за темами

Тема	1	2	3	4	5	6
Варіант						
1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28	1.1	2.2	3.3	4.1	5.2	6.3
2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29	1.2	2.3	3.1	4.2	5.3	6.1
3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30	1.3	2.1	3.2	4.3	5.1	6.2

Таблиця 2 – Початкові дані по металах для задач № 1 і 2 ($T = 300$ К)

Варіант	Метал	$M,$ $г / моль$	$D,$ $кг / дм^3$	n_0	$(\rho_0 \times 10^8)^*,$ $Ом \cdot м$	$(\alpha \times 10^3)^*,$ $1/град$
1	Li	6.94	0.534	1	8.4	4.4
2	Na	23.0	1.01	1	4.5	5.0
3	Mg	24.3	1.74	2	4.4	4.2
4	Al	27.0	2.70	3	2.7	4.2
5	K	39.1	0.87	1	6.25	5.8
6	Ca	40.1	1.55	2	4.17	4.6
7	V	50.9	5.96	1	26	2.8
8	Hr	52.0	7.19	1	19	5.9
9	Fe	55.8	7.87	3	8.71	6.6
10	Ni	58.7	8.91	1	10.3	4.3
11	Cu	63.5	8.93	1	1.62	4.3
12	Zn	65.4	7.14	2	5.92	3.5
13	Ga	69.7	5.91	3	8.1	5.2
14	Rb	85.5	1.53	1	11.6	5.3
15	Nb	92.9	8.58	1	13.1	4.0
16	Mo	95.9	10.2	1	5.03	4.7
17	Pd	107	12.2	1	9.1	3.8
18	Ag	108	10.5	1	1.47	4.0
19	Cd	112	8.65	2	7.3	4.3
20	In	115	7.31	3	8.2	5.1
21	Sn	119	7.28	4	5.92	3.5
22	Sb	122	6.62	5	42	3.8
23	Cs	133	1.87	1	20	4.8
24	Ta	181	16.6	1	32	3.6
25	W	184	19.3	1	5.5	4.6
26	Ir	192	22.4	2	6.15	3.7
27	Pt	195	21.4	1	10.7	3.9
28	Au	197	19.3	1	2.06	4.5
29	Tl	204	11.8	3	18.6	2.3
30	Pb	207	11.3	4	20	3.4

* $\rho_0 = (\rho_0 \times 10^8) \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad \alpha = (\alpha \times 10^3) \cdot 10^{-3} \text{ 1/град.}$

Таблиця 3 – Початкові дані по напівпровідниках для задач № 3–6

Варіант	Напів-провідник	E_g , еВ	$\frac{m_n}{m_0}$ *	$\frac{m_p}{m_0}$ *	μ_n , $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	μ_p , $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	\square_n , с	\square_p , с	T^{**} , °K	N_C , м^{-3}	N_V , м^{-3}
1	АЛМАЗ	5,40	0,2	0,4	0,4	0,5	10^{-6}	10^{-6}	800	$9.73 \cdot 10^{24}$	$2.75 \cdot 10^{25}$
2	ZnS	3,70	0,3	0,5	0,017	0,0005	10^{-3}	10^{-3}	750	$1.62 \cdot 10^{25}$	$3.49 \cdot 10^{25}$
3	GaN	3,40	0,2	0,6	0,038	0,02	10^{-6}	$5 \cdot 10^{-6}$	700	$7.96 \cdot 10^{24}$	$4.14 \cdot 10^{25}$
4	SiC	3,00	0,6	1,0	0,03	0,005	10^{-9}	$1 \cdot 10^{-9}$	650	$3.70 \cdot 10^{25}$	$7.96 \cdot 10^{25}$
5	ZnSe	2,60	0,17	0,6	0,03	0,0015	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	600	$4.95 \cdot 10^{24}$	$3.28 \cdot 10^{25}$
6	CdS	2,53	0,2	0,7	0,03	0,005	$1 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	550	$5.54 \cdot 10^{24}$	$3.63 \cdot 10^{25}$
7	AlP	2,43	0,35	0,45	0,008	0,003	$5 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}	500	$1.11 \cdot 10^{25}$	$1.62 \cdot 10^{25}$
8	ZnTe	2,28	0,15	0,65	0,034	0,02	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	450	$2.67 \cdot 10^{24}$	$2.40 \cdot 10^{25}$
9	GaP	2,26	0,36	0,4	0,02	0,01	10^{-8}	10^{-7}	400	$8.31 \cdot 10^{24}$	$9.73 \cdot 10^{24}$
10	CdSe	1,74	0,13	0,45	0,06	0,006	10^{-2}	10^{-2}	350	$1.48 \cdot 10^{24}$	$9.50 \cdot 10^{24}$
11	AlSb	1,58	0,3	0,4	0,04	0,02	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	300	$4.10 \cdot 10^{24}$	$6.32 \cdot 10^{24}$
12	GdTe	1,51	0,11	0,4	0,1	0,01	10^{-7}	10^{-7}	300	$9.11 \cdot 10^{23}$	$6.32 \cdot 10^{24}$
13	GaAs	1,43	0,067	0,5	0,85	0,04	10^{-9}	10^{-8}	300	$4.33 \cdot 10^{23}$	$8.83 \cdot 10^{24}$
14	InP	1,35	0,06	0,2	0,5	0,06	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-6}$	300	$3.67 \cdot 10^{23}$	$2.23 \cdot 10^{24}$
15	Si	1,12	1,05	0,56	0,15	0,05	$3 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	300	$2.69 \cdot 10^{25}$	$1.05 \cdot 10^{25}$
16	GaSb	0,72	0,05	0,4	0,5	0,14	10^{-6}	10^{-6}	300	$2.79 \cdot 10^{23}$	$6.32 \cdot 10^{24}$
17	Mg ₂ Si	0,70	0,46	0,87	0,04	0,007	$3 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	300	$7.79 \cdot 10^{24}$	$2.03 \cdot 10^{25}$
18	Ge	0,67	0,57	0,37	0,39	0,19	$5 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}	300	$1.07 \cdot 10^{25}$	$5.62 \cdot 10^{24}$
19	Mg ₂ Ge	0,60	0,18	0,31	0,05	0,01	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	300	$1.91 \cdot 10^{24}$	$4.31 \cdot 10^{24}$
20	ZnSb	0,50	0,15	0,42	0,1	0,05	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	216	$8.86 \cdot 10^{23}$	$4.15 \cdot 10^{24}$
21	PbS	0,39	0,25	0,25	0,06	0,07	10^{-5}	$4 \cdot 10^{-5}$	216	$1.91 \cdot 10^{24}$	$1.91 \cdot 10^{24}$
22	InAs	0,36	0,027	0,41	3,0	0,04	$5 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-8}$	120	$2.80 \cdot 10^{22}$	$1.66 \cdot 10^{24}$
23	Te	0,34	0,13	0,4	0,09	0,06	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	120	$2.96 \cdot 10^{23}$	$1.60 \cdot 10^{24}$
24	PbTe	0,32	0,034	0,032	0,2	0,10	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-6}$	120	$3.96 \cdot 10^{22}$	$3.62 \cdot 10^{22}$
25	Mg ₂ Sn	0,30	1,17	1,28	0,025	0,02	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	77	$4.11 \cdot 10^{24}$	$4.70 \cdot 10^{24}$
26	PbSe	0,27	0,054	0,05	0,1	0,06	$3 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	77	$4.08 \cdot 10^{22}$	$3.63 \cdot 10^{22}$
27	InSb	0,18	0,014	0,4	2	0,1	10^{-8}	$5 \cdot 10^{-8}$	77	$5.38 \cdot 10^{21}$	$8.22 \cdot 10^{23}$
28	Cd _{0,2} H _{0,8} Te	0,16	0,012	0,43	1,6	0,019	10^{-7}	10^{-7}	77	$4.27 \cdot 10^{21}$	$9.16 \cdot 10^{23}$
29	Pb _{0,8} Sn _{0,2} Te	0,10	0,011	0,012	4,0	3,4	10^{-7}	10^{-7}	77	$3.75 \cdot 10^{21}$	$4.27 \cdot 10^{21}$
30	Cd ₃ As ₂	0,10	0,46	0,12	0,05	0,03	10^{-6}	10^{-6}	77	$1.01 \cdot 10^{24}$	$1.35 \cdot 10^{23}$

* $m_n = (m_n/m_0) \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг; $m_p = (m_p/m_0) \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

**Температура плавлення CO₂ = 216 K; кипіння кріптону = 120 K, кипіння азоту = 77 K.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

t – час, x – координата (товщина), S – площа перетину;

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла;

$e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл – модуль заряду електрона, заряд дірки;

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К = $8,62 \cdot 10^{-5}$ eВ/К – стала Больцмана, T – температура;

$m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг – маса спокою вільного електрона;

m_n – ефективна маса електрона, m_p – ефективна маса дірки;

ϵ – відносна діелектрична проникність, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична стала;

E – напруженість електричного поля;

E – енергія електрона (дірки), E_g – ширина забороненої зони,

E_F – енергія Фермі;

U – напруга, різниця потенціалів, ϕ_0 – контактна різниця потенціалів;

j – густина струму, j_s – густина струму насичення;

C – ємність p - n -переходу, δ – ширина області об'ємного заряду;

L_n – дифузійна довжина електронів, L_p – дифузійна довжина дірок;

N_v – ефективна густина станів у валентній зоні, N_c – в зоні провідності;

N_a – концентрація акцепторів, N_d – концентрація донорів;

n – концентрація електронів, p – концентрація дірок;

n_i – концентрація власних електронів, p_i – концентрація власних дірок;

n_n – концентрація основних електронів, p_p – концентрація основних дірок;

n_p – концентрація неосновних електронів, p_n – концентрація неосновних дірок;

μ_n – рухливість електронів, μ_p – рухливість дірок;

τ_n – час життя електронів, τ_p – час життя дірок;

ρ_0 – питомий опір при $T = 300$ К, ρ_i – власний питомий опір;

γ – питома електропровідність;

D_n – коефіцієнт дифузії електронів, D_p – коефіцієнт дифузії дірок;

Δn – концентрація нерівноважних електронів;

Δp – концентрація нерівноважних дірок.

Примітка. В процесі обчислення в функцію експоненти підставляти ширину забороненої зони E_g в eВ, а постійну Больцмана $k = 8,62 \cdot 10^{-5}$ eВ/К. В інших випадках постійна Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ (N – номер варіанта)

Тема 1. Електропровідність металів

1.1. До провідника довжиною 1 м і площею поперечного перерізу $0,1\text{ мм}^2$, який виконано з даного металу, прикладена напруга $0,1\text{ В}$. Температура провідника $(300+20N)\text{ К}$. Визначити:

- а) швидкість дрейфу електронів;
- б) її відношення до середньої теплової швидкості;
- в) опір провідника при зазначеній температурі.

1.2. До провідника довжиною 1 км і площею поперечного перерізу $1,5\text{ мм}^2$, який виконано з даного металу, прикладена різниця потенціалів 220 В . Температура провідника $(300+20N)\text{ К}$. Визначити:

- а) час, протягом якого електрон пройде по даному провіднику;
- б) у скільки разів швидше електрон пролетить цю відстань у вакуумі при такої ж самої напрузі;
- в) опір провідника при зазначеній температурі.

1.3. У провіднику з площею поперечного перерізу 1 мм^2 і довжиною $(1000+50N)\text{ м}$, який виконано з даного металу, протікає струм під дією напруги 10 В при температурі $(300+20N)\text{ К}$. Визначити:

- а) швидкість дрейфу електронів;
- б) середню теплову швидкість електронів;
- в) опір провідника при зазначеній температурі.

Тема 2. Статистика електронів у металах

2.1. У зразку, який виконано з даного металу, деякий енергетичний рівень за температури 300 К розташований на $0,1 \cdot \sqrt[3]{N}\text{ eV}$ вище рівня Фермі. Визначити:

- а) концентрацію вільних електронів у металі;
- б) значення енергії Фермі та заданого енергетичного рівня;
- в) ймовірність заповнення електронами заданого енергетичного рівня;
- г) чому дорівнює ймовірність заповнення електронами заданого енергетичного рівня, якщо температура збільшиться до $(300+20N)\text{ К}$;
- д) накреслити в масштабі зонну діаграму метала, на якій указати числові значення рівня Фермі та заданого енергетичного рівня.

2.2. У зразку, який виконано з даного металу, ймовірність перебування електрона на енергетичному рівні, розташованому на $0,1 \cdot \sqrt[3]{N}\text{ eV}$ вище рівня Фермі, дорівнює 1% . Визначити:

- а) концентрацію вільних електронів у металі;
- б) значення енергії Фермі та заданого енергетичного рівня;
- в) температуру зразка;

г) ймовірність заповнення електронами заданого енергетичного рівня при 300 К ;

д) накреслити в масштабі зонну діаграму металу, на якій указати числові значення рівня Фермі та заданого енергетичного рівня.

2.3. Зразок, який виконано з даного металу, знаходиться при температурі $(300+20N)$ К. Визначити:

- а) значення енергії Фермі;
- б) концентрацію вільних електронів у металі;
- в) інтервал енергій (значення рівнів E_1 і E_2), якому відповідає функція розподілу Фермі-Дірака з інтервалу від 10% до 90%;
- г) ймовірність заповнення електронами визначених рівнів E_1 і E_2 при 300 К;
- д) накреслити в масштабі зонну діаграму металу, на якій указати числові значення рівня Фермі та енергії рівнів E_1 і E_2 .

Тема 3. Електропровідність напівпровідників

3.1. Напівпровідник, який знаходиться при заданій температурі, легіровано донорною домішкою і має питомий опір $0,01 \cdot N$ Ом·м. До напівпровідника прикладено електричне поле напруженістю 100 В/м. Визначити:

- а) концентрацію основних і неосновних носіїв струму;
- б) положення рівня Фермі;
- в) накреслити в масштабі зонну діаграму напівпровідника, на якій указати числові значення рівнів E_V , E_C , E_F ;
- г) густину струму скрізь напівпровідник.

3.2. Не легірований напівпровідник знаходиться при заданій в табл. 3 температурі. До напівпровідника прикладено електричне поле напруженістю 100 В/м. Визначити:

- а) питомий опір напівпровідника;
- б) положення рівня Фермі;
- в) накреслити в масштабі зонну діаграму напівпровідника, на якій указати числові значення рівнів E_V , E_C , E_F ;
- г) густину струму скрізь напівпровідник.

3.3. Напівпровідник p -типу, який знаходиться при заданій температурі, містить мілку домішку-акцептор з концентрацією $6 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$. Після введення деякої кількості донорів тип провідності змінився на протилежний, а питомий опір став рівним $0,1$ Ом·м. До напівпровідника прикладене електричне поле напруженістю 100 В/м. Визначити:

- а) необхідну концентрацію уведеної донорної домішки в зразку;
- б) положення рівня Фермі після введення донорної домішки;
- в) накреслити в масштабі зонну діаграму напівпровідника, на якій вказати числові значення рівнів E_V , E_C , E_F ;
- г) густину струму крізь напівпровідник.

Тема 4. Ефект Холла в напівпровідниках

4.1. Зразок напівпровідника у формі паралелепіпеда з розмірами $50\text{мм} \times 5\text{мм} \times 1\text{мм}$ поміщений у магнітне поле з індукцією $0,5\text{ Тл}$, вектор якої перпендикулярний площині зразка. Під дією подовжньої напруги $0,4 \cdot \sqrt[3]{N}\text{ В}$ по ньому протікає струм 20 мА , обумовлений носіями одного знака. Визначена уздовж ширини зразка ЕРС Холла складає $6 \cdot \sqrt[3]{N}\text{ мВ}$. Знайти:

- а) питому електропровідність напівпровідника;
- б) концентрацію носіїв струму;
- в) рухливість носіїв струму.

4.2. Через напівпровідник з питомим опором $5 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt[3]{N}\text{ Ом}\cdot\text{мм}$, що характеризується коефіцієнтом Холла $3 \cdot 10^{-4}\text{ м}^3/\text{Кл}$ пропускають електричний струм, зумовлений носіями одного знака, густиною $10/\sqrt[3]{N}\text{ мА}/\text{мм}^2$ у поперечному магнітному полі з індукцією 2 Тл . Визначити:

- а) напруженість холлівського поля;
- б) напруженість зовнішнього електричного поля, необхідного для створення заданої густини струму;
- в) рухливість носіїв струму.

4.3. Прямокутна плівка напівпровідника n -типу розмірами $20\text{ мм} \times 10\text{ мм}$ із рухливістю електронів $0,1\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ розташована в площині, перпендикулярній магнітному полю Землі з індукцією $44 \cdot \sqrt[3]{N}\text{ мТл}$. Виміряна уздовж ширини ЕРС

Холла складає $1/\sqrt[3]{N}\text{ мВ}$. Визначити:

- а) різницю потенціалів, прикладену уздовж довжини плівки;
- б) дрейфову швидкість електронів.

Тема 5. Електричні властивості p - n -переходів

5.1. Маємо p - n -перехід з концентрацією донорної домішки 10^{23} м^{-3} та концентрацією акцепторної домішки 10^{22} м^{-3} . Для заданого напівпровідника при заданій температурі визначити:

- а) контактну різницю потенціалів;
- б) напругу, при якій густина прямого струму буде в $1000 \cdot N$ разів більше густини струму насичення.

5.2. Питомий опір p -області p - n -переходу $0,02\text{ Ом}\cdot\text{мм}$ та питомий опір n -області $0,01\text{ Ом}\cdot\text{мм}$. Для заданого напівпровідника при заданій температурі обчислити:

- а) висоту потенційного бар'єра p - n -переходу;
- б) напругу, за якої густина прямого струму буде в $2000 \cdot N$ разів більше густини струму насичення.

5.3. Маємо p - n -перехід з концентрацією донорної домішки 10^{23} м^{-3} та

концентрацією акцепторної домішки 10^{22} м^{-3} . Для заданого напівпровідника при заданій температурі визначити:

- а) густину зворотного струму насичення;
- б) відношення діркової складової цього струму до електронного;
- в) напругу, за якої густина прямого струму буде 10^5 А/м^2 .

Тема 6. Ємність p - n переходу

6.1. При заданій температурі у незміщеному різкому p - n -переході перетином 1 мм^2 з відносною діелектричною проникністю 13 концентрація донорної домішки 10^{23} м^{-3} та концентрація акцепторної домішки 10^{22} м^{-3} . Знайти:

- а) ширину p - n -переходу;
- б) бар'єрну ємність p - n -переходу;
- в) напругу, за якої бар'єрна ємність зменшиться в 2 рази.

6.2. У різкому p - n -переході перетином $0,01 \text{ см}^2$ і відносною діелектричною проникністю 13 за заданої в табл.3 температури концентрація донорної домішки 10^{23} м^{-3} та концентрація акцепторної домішки 10^{22} м^{-3} . При напругах 0 і -5 В знайти:

- а) ширину p - n -переходу;
- б) бар'єрну ємність p - n -переходу.

6.3. За заданої температури у різкому p - n -переході перетином 1 мм^2 і відносною діелектричною проникністю 13 концентрація донорної домішки 10^{23} м^{-3} та концентрація акцепторної домішки 10^{22} м^{-3} . Пробивна напруга в 50 разів більше контактної різниці потенціалів. За напруги рівної нулю і пробивній напрузі знайти:

- а) ширину p - n -переходу;
- б) бар'єрну ємність p - n -переходу.

