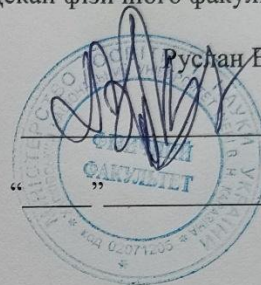


Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра фізики кристалів

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету

Руслан БОВК



2025 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Спецкурс «Дифузія в реальних кристалах»
(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
галузь знань _____ Е – Природничі науки, математика та статистика _____
(шифр і назва)
спеціальність _____ Е5 – фізика та астрономія _____
(шифр і назва)
освітня програма _____ освітньо-наукова – фізика _____
(шифр і назва)
спеціалізація _____
(шифр і назва)
вид дисципліни _____ за вибором _____
(обов'язкова / за вибором)
факультет _____ фізичний _____

2025/2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

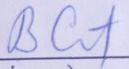
29 серпня 2025 року, протокол № 10

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ: Богданов В.В., канд. фіз.- мат. наук, доцент кафедри фізики кристалів

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики кристалів

Протокол №9 від 22 серпня 2025 року

В.о. завідувача кафедри:



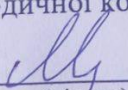
(підпис)

Владислав СЕМІНЬКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол №5 від 28 серпня 2025 року

Голова методичної комісії



(підпис)

Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Дифузія в реальних кристалах” складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки _____ магістра _____
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності _____ **Е4 – фізика та астрономія** _____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є:

ознайомити студентів із теорією дифузії в кристалах у зв'язку із наявністю дефектів кристалічної будови.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є:

в рамках фізики реальних кристалів вивчити процеси, що відбуваються в дифузійній зоні кристалічних систем та супроводжуючі їх ефекти кінетичного походження.

1.3. Кількість кредитів – 4

1.4. Загальна кількість годин – 120

Характеристика навчальної дисципліни	
за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
1-й	-й
Семестр	
2-й	-й
Лекції	
36 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
24 год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
60 год.	год.
Індивідуальні завдання	
2 контрольні роботи	

1.6. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Компетентності, що мають бути сформовані:

Інтегральна: Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії (ІК1).

Загальні

- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК1)
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК2).
- Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ЗК4).
- Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК5).
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК6).
- Здатність працювати в міжнародному контексті (ЗК8).
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК9).

- Здатність дотримуватися принципів академічної доброчесності (ЗК11).

Фахові

- Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ (ФК1).
- Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії (ФК2).
- Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефахівцям (ФК3).
- Здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень в області фізики та/або астрономії (ФК4).
- Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях (ФК5).
- Здатність встановлювати зв'язок між експериментальними і теоретичними результатами, здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних явищ, об'єктів і процесів, пов'язувати результати досліджень із сучасними фізичними та астрономічними теоріями і уявленнями (ФК8).
- Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси (ФК9).
- Здатність проводити аналіз наукових результатів, отриманих в області фізики та астрономії (ФК13).
- Здатність ефективно використовувати людські та матеріальні ресурси для вирішення фундаментальних та прикладних наукових завдань (ФК14).

1.7. Перелік результатів навчання, що формує дана дисципліна

Програмні результати навчання

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- ✓ Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем. (ПРН 1).
- ✓ Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень (ПРН 2).
- ✓ Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності (ПРН 4)
- ✓ Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів (ПРН 5)
- ✓ Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій в області фізики та/або астрономії. (ПРН 6)
- ✓ Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді. (ПРН 7)

- ✓ Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись із колегами. (ПРН 9)
- ✓ Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані. (ПРН 10)
- ✓ Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач. (ПРН 11)

1.8. Вивченню спецкурсу «Дифузія в реальних кристалах» передуює курс загальної фізики, курс класичної термодинаміки та статистичної фізики.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Процеси в дифузійній зоні

1. Взаємна дифузія. Ефект Кіркендала. Аналіз Даркена
2. Термодинамічний підхід до опису дифузії. Загальна феноменологічна теорія дифузії. Її застосування до описання конкретних явлень переноса
3. Феноменологічні рівняння взаємної дифузії з урахуванням вакансій
4. Одержання значень коефіцієнтів дифузії у конкретному вигляді
5. Ефект Маннінга кореляції дифузійних стрибків атомів у вакансійному потоці
6. Розподіл вакансій у дифузійній зоні. Конкуренція ефектів Кіркендала і Френкеля
7. Розподіл напружень у дифузійній зоні. Вплив напружень на дифузію й супутні ефекти
8. Дифузійні процеси у багатофазних системах. Зв'язок між фазовою діаграмою і розподілом концентрації в дифузійній зоні.
9. Дифузійні процеси у багатофазних системах: системи з обмеженою розчинністю у твердій фазі, системи з проміжними фазами.
10. Кінетика росту фаз у дифузійній зоні. Дифузійний режим. Межова кінетика

Розділ 2. Дифузія і дефекти кристалів

11. Сучасні уявлення про структуру меж зерен. Дифузія уздовж меж.
12. Дифузія вздовж поодинокі стаціонарної межі. Аналіз Фішера
13. Експериментальні методи визначення параметрів зерномежової дифузії.
14. Орієнтаційна залежність коефіцієнта зерномежової дифузії. Параметри зерномежової дифузії при вакансійному механізмі. Умови застосовності аналізу Фішера.
15. Дифузія в полікристалах. Класифікація дифузійних режимів для стаціонарних і рухомих меж.
16. Дифузія рухомими межами. Міграція меж, спричинена межевою дифузією.
17. Структура вільної поверхні кристала. Поверхнева дифузія.
18. Експериментальне визначення параметрів поверхневої та об'ємної дифузії методом перенесення маси вздовж вільної поверхні кристала.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
		л	п	л.	ін.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7

Розділ 1. Процеси в дифузійній зоні						
1. Взаємна дифузія. Ефект Кіркендала. Аналіз Даркена	7	3	1			3
2. Термодинамічний підхід до опису дифузії. Загальна феноменологічна теорія дифузії	7	3	1			3
3. Феноменологічні рівняння взаємної дифузії з урахуванням вакансій	7	3	1			3
4. Отримання значень коефіцієнтів дифузії в явному вигляді	7	3	1			3
5. Ефект Маннінга направленої потоку вакансій	7	3	1			3
6. Розподіл вакансій в дифузійній зоні. Конкуренція ефектів Кіркендалла і Френкеля	7	3	1			3
7. Розподіл напружень в дифузійній зоні. Їх вплив на дифузію і супутні ефекти	7	3	1			3
8. Зв'язок між фазовою діаграмою і розподілом концентрації в дифузійній зоні при взаємній дифузії	7	3	1			3
9. Дифузійні процеси у багатофазних системах: системи з обмеженою розчинністю у твердій фазі, системи з проміжними фазами	7	3	1			3
10. Кінетика росту фаз у дифузійній зоні. Дифузійний режим. Межова кінетика	7	3	1			3
Разом за розділом 1	70	30	10			30
Розділ 2. Дифузія і дефекти кристалів						
11. Сучасні уявлення про структуру меж зерен. Дифузія уздовж меж	7	2	3			3
12. Дифузія вздовж поодинокі стаціонарної межі. Аналіз Фішера	7	2	3			3
13. Експериментальні методи визначення параметрів зерномежової дифузії	7	2	3			3
14. Орієнтаційна залежність коефіцієнта зерномежової дифузії. Параметри зерномежової дифузії при вакансійному механізмі. Умови застосовності аналізу Фішера.	7	2	3			3
15. Дифузія в полікристалах. Класифікація дифузійних режимів для стаціонарних і рухомих меж	7	2	3			3
16. Дифузія рухомими межами. Міграція меж, спричинена межовою дифузією	7	2	3			3
17. Структура вільної поверхні кристала. Поверхнева дифузія	7	2	3			3
18. Експериментальне визначення параметрів поверхневої та об'ємної дифузії методом перенесення маси вздовж вільної поверхні кристала	7	2	3			3
Разом за розділом 2	56	16	16			24
Усього годин	120	36	24			60

4. Темі семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Термодинамічний підхід до опису дифузії. Загальна феноменологічна теорія дифузії	2
2	Феноменологічні рівняння взаємної дифузії з урахуванням вакансій	2
3	Ефект Маннінга направленої потоку вакансій	2
4	Розподіл вакансій в дифузійній зоні. Конкуренція ефектів Кіркендалла і Френкеля	2
5	Розподіл напружень в дифузійній зоні. Їх вплив на дифузію і супутні ефекти	2
6	Зв'язок між фазовою діаграмою і розподілом концентрації в дифузійній зоні при взаємній дифузії	2
7	Дифузійні процеси у багатофазних системах: системи з обмеженою	2

	розчиністю у твердій фазі, системи з проміжними фазами	
8	Кінетика росту фаз у дифузійній зоні. Дифузійний режим. Межова кінетика	2
9	Сучасні уявлення про структуру меж зерен. Дифузія уздовж меж	2
10	Дифузія вздовж поодинокі стаціонарної межі. Аналіз Фішера	2
11	Експериментальні методи визначення параметрів зерномежової дифузії	2
12	Орієнтаційна залежність коефіцієнта зерномежової дифузії. Параметри зерномежової дифузії при вакансійному механізмі. Умови застосовності аналізу Фішера	2
	Разом	24

5. Завдання для самостійної роботи

№	З використанням літературних джерел із списку рекомендованої літератури проробка питань, поставлених викладачем на лекції з теми:	Кількість годин
1	Взаємна дифузія. Ефект Кіркендалла. Аналіз Даркена	3
2	Термодинамічний підхід до опису дифузії. Загальна феноменологічна теорія дифузії	3
3	Феноменологічні рівняння взаємної дифузії з урахуванням вакансій	3
4	Отримання значень коефіцієнтів дифузії в явному вигляді	3
5	Ефект Маннінга направленої потоку вакансій	3
6	6. Розподіл вакансій в дифузійній зоні. Конкуренція ефектів Кіркендалла і Френкеля	3
7	Розподіл напружень в дифузійній зоні. Їх вплив на дифузію і супутні їй ефекти	3
8	Зв'язок між фазовою діаграмою і розподілом концентрації в дифузійній зоні при взаємній дифузії	3
9	Дифузійні процеси у багатофазних системах: системи з обмеженою розчиністю у твердій фазі, системи з проміжними фазами	3
10	Кінетика росту фаз у дифузійній зоні. Дифузійний режим. Межова кінетика	3
11	Сучасні уявлення про структуру меж зерен. Дифузія уздовж меж	3
12	Дифузія вздовж поодинокі стаціонарної межі. Аналіз Фішера	3
13	Експериментальні методи визначення параметрів зерномежової дифузії	3
14	Орієнтаційна залежність коефіцієнта зерномежової дифузії. Параметри зерномежової дифузії при вакансійному механізмі. Умови застосовності аналізу Фішера.	3
15	Дифузія в полікристалах. Класифікація дифузійних режимів для стаціонарних і рухомих меж	3
16	Дифузія рухомими межами. Міграція меж, спричинена межовою дифузією	3
17	Структура вільної поверхні кристала. Поверхнева дифузія	3
18	Експериментальне визначення параметрів поверхневої та об'ємної дифузії методом перенесення маси вздовж вільної поверхні кристала	3
	Разом	60

6. Тема курсової роботи

7. Методи контролю:

контр. роб., залік.

Питання до контролю:

1. Взаємна дифузія. Ефект Кіркендалла. Аналіз Даркена.

2. Термодинамічний підхід до опису дифузії. Загальна феноменологічна теорія дифузії. Її застосування до описання конкретних явлень переноса.
3. Феноменологічні рівняння взаємної дифузії з урахуванням вакансій.
4. Отримання значень коефіцієнтів дифузії в явному вигляді.
5. Ефект Маннінга направленої потоку вакансій.
6. Розподіл вакансій в дифузійній зоні. Конкуренція ефектів Кіркендалла і Френкеля.
7. Розподіл напружень в дифузійній зоні. Їх вплив на дифузію і супутні їй ефекти.
8. Зв'язок між фазовою діаграмою і розподілом концентрації в дифузійній зоні при взаємній дифузії.
9. Дифузійні процеси у багатофазних системах: системи з обмеженою розчинністю у твердій фазі, системи з проміжними фазами.
10. Кінетика росту фаз у дифузійній зоні. Дифузійний режим. Межова кінетика.
11. Сучасні уявлення про структуру меж зерен. Дифузія уздовж меж.
12. Дифузія уздовж поодинокі стаціонарної межі. аналіз Фішера.
13. Експериментальні методи визначення параметрів зерномежевої дифузії.
14. Орієнтаційна залежність коефіцієнта зерномежевої дифузії. Параметри зерномежевої дифузії при вакансійному механізмі. Умови застосовності аналізу Фішера.
15. Дифузія в полікристалах. Класифікація дифузійних режимів для стаціонарних і рухомих меж.
16. Дифузія рухомими межами. Дифузійно-індукована міграція меж зерен.
17. Структура вільної поверхні кристала. Дифузія уздовж поверхні. Визначення параметрів поверхневої дифузії методом перенесення маси.
18. Експериментальне визначення параметрів поверхневої і об'ємної дифузії методом перенесення маси вздовж вільної поверхні.

Заліковий білет № 1

1. Взаємна дифузія. Ефект Кіркендалла. Аналіз Даркена.
2. Знайти кінетичний закон зростання шару оксиду Мео на поверхні металу в припущенні, що оксид зростає в результаті дифузії металевих іонів через шар оксиду на зовнішню поверхню, де відбувається окислення.

Заліковий білет № 2

1. Термодинамічний підхід до опису дифузії. Загальна феноменологічна теорія дифузії. Її застосування до опису конкретних явищ переносу.
2. Отримайте вираз для товщини шару інтерметаліду, що формується при взаємній дифузії двох металів, за якої відбувається зміна кінетичного закону зростання з'єднання.

Заліковий білет № 3

1. Феноменологічні рівняння взаємної дифузії з урахуванням вакансій.
2. Водень поміщений в резервуар з товщиною стінок $l = 1 \text{ мм}$. Резервуар знаходиться у вакуумі. Тиск водню в резервуарі $p_1 = 105 \text{ Па}$. Розрахувати потік водню крізь стінку резервуара, якщо відомо, що розчинність водню в металі пропорційна $\sqrt{p}$ і становить $10^{-5} \text{ ат\%}$ при $p = 10^3 \text{ Па}$, коефіцієнт дифузії водню в металі, $D = 10^{-9} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$, атомний об'єм металу $w \gg 10^{-29} \text{ м}^3$.

Заліковий білет № 4

1. Отримання значень коефіцієнтів дифузії в явному вигляді.
2. У дифузійний контакт приведено речовини А і В. Після відпау виявилось, що крива розподілу $C_B(x)$ симетрична щодо точки $C_B(x_0)$, де x_0 – координата площині вихідного

контакту. Що можна сказати про концентраційну залежність коефіцієнта дифузії D_B ? Якою функцією описується $C_B(x)$?

Заліковий білет № 5

1. Ефект Маннінга направленого потоку вакансій.
2. У дифузійній зоні системи А-В зростає шар сполуки, товщина якого l лінійно залежить від часу відпалу. Через 10 годин відпалу концентрації В на різних берегах шару виявилися рівними $C_1 = 0,65$; $C_2 = 0,66$, а його товщина $l = 20$ мкм. Оцінити кінетичний коефіцієнт зростання сполуки, якщо взаємна дифузія А-В відбувається уніполярно.

Заліковий білет № 6

1. Розподіл вакансій в дифузійній зоні. Конкуренція ефектів Кіркендалла і Френкеля.
2. Після 10-годинного відпалу при 200°C бікрісталла Zn з мідною плівкою, що напилена на його торець, перпендикулярний площині межзеренної межі, виміряли розподіл концентрації Cu методом зняття шарів, паралельних площині джерела дифузії. З використанням рішення Фішера обчислили коефіцієнт зерномежевої $D_b \approx 10^{-11} \text{ м}^2\text{с}^{-1}$ і об'ємної $D \approx 10^{-16} \text{ м}^2\text{с}^{-1}$ дифузії. Чи правомірно було використовувати рішення Фішера в даному випадку?

Заліковий білет № 7

1. Розподіл напружень у дифузійній зоні. Вплив напружень на дифузію й супутні ефекти.
2. Було проведено дифузний відпал зразків двох типів: 1-й складався з латуні (Cu + 30 ат. % Zn) і відпалювався у вакуумі, 2-й являв собою зразок бутербродного типу, складений з міді та латуні. У процесі відпалу при $T = 900^\circ\text{C}$ відбувалася сублімація цинку з 1-го зразка в вакуум і взаємна дифузія цинку і міді в 2-му зразку. Після 10-ти годинного відпалу були виміряні розподілення концентрації цинку в дифузійних зонах двох зразків. Яким способом слід обробити результати експерименту, щоб отримати значення коефіцієнтів дифузії, що характеризують кінетику дифузійних процесів в кожному зі зразків?

Заліковий білет № 8

1. Зв'язок між фазовою діаграмою і розподілом концентрації в дифузійній зоні при взаємній дифузії.
2. Термодинаміки незворотних процесів впливає, що в ізотермічних умовах дифузний потік визначається співвідношенням $j = -L\tilde{N}m$, де L – кінетичний коефіцієнт, $\tilde{N}m$ – градієнт хімічного потенціалу дифундуючих частинок. Виразити кінетичний коефіцієнт через коефіцієнт дифузії D і рухливість B .

Заліковий білет № 9

1. Дифузійні процеси у багатофазних системах: системи з обмеженою розчинністю у твердій фазі, системи з проміжними фазами.
2. Оцінити коефіцієнт дифузії вакансій в золоті при 40°C , скориставшись емпіричним правилом $H = 18kT_m$ і вважаючи, що енергія утворення вакансій $H_v = 0,87 \text{ eV}$, предекспонентний множник $D_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ м}^2\text{с}^{-1}$, температура плавлення золота $T_m = 1336 \text{ K}$.

Заліковий білет № 10

1. Кінетика росту сполук у дифузійній зоні. Різні режими росту. Узгодження дифузійних і межових потоків.

2. З термодинаміки незворотних процесів випливає, що в ізотермічних умовах дифузний потік визначається співвідношенням $j = -L\dot{N}m$, де L – кінетичний коефіцієнт, $\dot{N}m$ – градієнт хімічного потенціалу дифундуючих частинок. Виразити кінетичний коефіцієнт через коефіцієнт дифузії D і рухливість B .

Заліковий білет № 11

1. Сучасні уявлення про структуру меж зерен. Дифузія уздовж меж.
2. В якому режимі за класифікацією Харрісона відбувається дифузія домішки в бікрісталл, якщо кут при вершині ізоконцентраційного контуру поблизу межі зерен дорівнює 160° ?

Заліковий білет № 12

1. Дифузія вздовж поодинокієї стаціонарної межі. Аналіз Фішера.
2. Отримайте вираз для товщини шару інтерметаліду, що формується за взаємної дифузії двох металів, при якій відбувається зміна кінетичного закону зростання сполуки.

Заліковий білет № 13

1. Експериментальні методи визначення параметрів зерномежевої дифузії.
2. Водень поміщений в резервуар з товщиною стінок $l = 1$ мм. Резервуар знаходиться у вакуумі. Тиск водню в резервуарі $p_1 = 105$ Па. Розрахувати потік водню крізь стінку резервуара, якщо відомо, що розчинність водню в металі пропорційна $\sqrt{p}$ і становить 10^{-5} ат% при $p = 10^3$ Па, коефіцієнт дифузії водню в металі, $D = 10^{-9}$ м²с⁻¹, атомний об'єм металу $w \gg 10^{-29}$ м³.

Заліковий білет № 14

1. Орієнтаційна залежність коефіцієнта зерномежевої дифузії. Параметри зерномежевої дифузії при вакансійному механізмі. Умови застосовності аналізу Фішера.
2. У дифузійний контакт приведено речовини А і В. Після відпалу виявилось, що крива розподілу $C_B(x)$ симетрична щодо точки $C_B(x_0)$, де x_0 – координата площині вихідного контакту. Що можна сказати про концентраційну залежність коефіцієнта дифузії D_B ? Якою функцією описується $C_B(x)$?

Заліковий білет № 15

1. Дифузія в полікристалах. Класифікація дифузійних режимів для стаціонарних і рухомих меж.
2. У дифузійній зоні системи А-В зростає шар сполуки, товщина якого l лінійно залежить від часу відпалу. Через 10 годин відпалу концентрації В на різних берегах шару виявилися рівними $C_1 = 0,65$; $C_2 = 0,66$, а його товщина $l = 20$ мкм. Оцінити кінетичний коефіцієнт зростання сполуки, якщо взаємна дифузія А-В відбувається уніполярно.

Заліковий білет № 16

1. Дифузія рухомими межами. Дифузійно-індукована міграція меж зерен.
2. Після 10-годинного відпалу при 200°C бікрісталла Zn з мідною плівкою, що напилена на його торець, перпендикулярний площині межзеренної межі, виміряли розподіл концентрації Cu методом зняття шарів, паралельних площині джерела дифузії. З використанням рішення Фішера обчислили коефіцієнт зерномежевої $D_b \gg 10^{-11}$ м²с⁻¹ і об'ємної $D \gg 10^{-16}$ м²с⁻¹ дифузії. Чи правомірно було використовувати рішення Фішера в даному випадку?

Заліковий білет № 17

1. Структура вільної поверхні кристала. Дифузія уздовж поверхні. Визначення параметрів поверхневої дифузії методом перенесення маси.

2. Було проведено дифузний відпал зразків двох типів: 1-й складався з латуні (Cu + 30ат.% Zn) і відпалювався у вакуумі, 2-й являв собою зразок бутербродного типу, складений з міді та латуні. У процесі відпалу при $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ відбувалася сублимація цинку з 1-го зразка в вакуум і взаємна дифузія цинку і міді в 2-му зразку. Після 10-ти годинного відпалу були виміряні розподілення концентрації цинку в дифузійних зонах двох зразків. Яким способом слід обробити результати експерименту, щоб отримати значення коефіцієнтів дифузії, що характеризують кінетику дифузійних процесів в кожному зі зразків?

Заліковий білет № 18

1. Експериментальне визначення параметрів поверхневої і об'ємної дифузії методом перенесення маси вздовж вільної поверхні.
2. З термодинаміки незворотних процесів випливає, що в ізотермічних умовах дифузний потік визначається співвідношенням $j = -L\tilde{N}m$, де L – кінетичний коефіцієнт, $\tilde{N}m$ – градієнт хімічного потенціалу дифундуючих частинок. Виразити кінетичний коефіцієнт через коефіцієнт дифузії D і рухливість B .

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль		Залік	Сума
Контрольна робота за темами T1-T10	Контрольна робота за темами T11-T18		
30	30	40	100

T1, T2 ... – теми розділів

Контрольна робота з кожної теми складається з двох питань. Відповідь на кожне питання оцінюється в 1,5 бала.

Залік проводиться у письмовій формі. Заліковий білет містить два пункти: 1 теоретичне питання і 1 задачу. Відповідь на кожен пункт оцінюється в 20 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література

1. Богданов В. В. Дифузія в кристалах. – ХНУ, 2006.
2. Mehrer, H. Diffusion in solids: fundamentals, methods, materials, diffusion-controlled processes. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007.
3. Ghomashchi, R. An Introduction to Fundamentals of Diffusion in Solid State Materials. – CRC Press, 2024.
4. Shewmon P. Diffusion in Solids. – Springer Cham, 2016.
5. Manning J. Diffusion Kinetics for Atoms in Crystals. – Van Nostrand, 1968.

Допоміжна література

1. Парицька Л. Н. Дифузія і дифузійні процеси в кристалах: Тексти лекцій.— Част. 1.— Харків: ХДУ, 1991.
2. Murch, G. E. Diffusion in crystalline solids. — Academic Press, 2012.
3. Alope P., and Divinski, S. (eds.) Handbook of Solid State Diffusion: Volume 1: Diffusion Fundamentals and Techniques. Vol. 1. — Elsevier, 2017.