

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної
роботи ХНУ імені В.Н.Каразіна

“ _____ ” _____ 2020 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Спецпрактикум «**Механізми і кінетика росту кристалів**»
(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти _____ перший (бакалавр) _____
галузь знань _____ 0402 – природничі науки _____
(шифр і назва)
спеціальність _____ 104 – фізика та астрономія _____
(шифр і назва)
освітня програма _____ фізика _____
(шифр і назва)
спеціалізація _____
(шифр і назва)
вид дисципліни _____ за вибором _____
(обов'язкова / за вибором)
факультет _____ фізичний _____

2020/2021 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

21 червня 2020 року, протокол № 6

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

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики кристалів

Протокол № 7 від 20 червня 2020 року

Завідувач кафедри Гриньов Б. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 6 від 20 червня 2020 року

Голова методичної комісії

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Спеціальний практикум випускаючої кафедри» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки

_____ перший (бакалавр) _____

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності (напрямку) _____ 6.040203 – фізика

_____ спеціалізації

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є

ознайомити студентів із різними аспектами проблеми елементарних процесів росту кристалів та з методами вирощування кристалів

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є

освоїти методи дослідження елементарних процесів росту кристалів та методи вирощування кристалів.

1.3. Кількість кредитів – 4

1.4. Загальна кількість годин – 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	-й
Семестр	
7-й	-й
Лекції	
год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
год.	год.
Лабораторні заняття	
80 год.	год.
Самостійна робота	
70 год.	год.
Індивідуальні завдання	
год.	

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

знати: основні прийоми та методи експериментального дослідження процесів росту кристалів та методи вирощування кристалів;

вміти: користатися оптичними мікроскопами, знати їх можливості щодо виявлення мікроструктури кристалічних тіл, виявляти мікроструктуру кристалів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

1. Дослідження форм росту кристалів
2. Дослідження епітаксіального росту кристалів
3. Шарувато-спіральный ріст кристалів
4. Отримання епітаксіальних плівок шляхом напилювання у вакуумі
5. Періодична кристалізація у тонкому шарі переохолодженого розплаву
6. Вирощування монокристалів методом Бриджмена
7. Вирощування монокристалів методом Стокбаргера
8. Очищення органічних речовин методом зонного плавлення
9. Вирощування монокристалів методом Киропулоса
10. Вирощування кристалу із розчину

4. 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
1. Дослідження форм росту кристалів	15			8		7
2. Дослідження епітаксіального росту кристалів	15			8		7
3. Шарувато-спіральный ріст кристалів	15			8		7
4. Отримання епітаксіальних плівок шляхом напилювання у вакуумі	15			8		7
5. Періодична кристалізація у тонкому шарі переохолодженого розплаву	15			8		7
6. Вирощування монокристалів методом Бриджмена	15			8		7
7. Вирощування монокристалів методом Стокбаргера	15			8		7
8. Очищення органічних речовин методом зонного плавлення	15			8		7
9. Вирощування монокристалів методом Киропулоса	15			8		7
10. Вирощування кристалу із розчину	15			8		7
Усього годин	150			80		70

5. Завдання для самостійної роботи

№	Вивчення теоретичних основ процесів, що досліджуються, за допомогою методичних розробок, та рекомендованої літератури	Кількість годин
1	Дослідження форм росту кристалів	7
2	Дослідження епітаксіального росту кристалів	7
3	Шарувато-спіральный ріст кристалів	7
4	Отримання епітаксіальних плівок шляхом напилювання у вакуумі	7
5	Періодична кристалізація у тонкому шарі переохолодженого розплаву	7
6	Вирощування монокристалів методом Бриджмена	7
7	Вирощування монокристалів методом Стокбаргера	7
8	Очищення органічних речовин методом зонного плавлення	7

9	Вирощування монокристалів методом Киропулоса	7
10	Вирощування кристалу із розчину	7
	Разом	70

6. Індивідуальні завдання

7. Методи контролю:

залік.

Питання до контролю:

1. Умови проходження процесів, що ведуть термодинамічну систему до рівноважного стану.
2. Умови рівноваги гетерогенної системи. Хімічний потенціал. Діаграми стану.
3. Структура хімічного потенціалу для різних агрегатних станів речовини.
4. Рушійна сила процесу кристалізації в системі «пара–кристал» або «розплав–кристал».
5. Рушійна сила процесу кристалізації в системі «розчин–кристал».
6. Рушійна сила кристалізації з твердофазного стану.
7. Умови зародження кристалів. Метастабільні стани систем.
8. Параметри процесу спонтанної кристалізації. Їхня експериментальна залежність від рушійної сили кристалізації.
9. Експериментальне і теоретичне моделювання процесу масової кристалізації. Опис кінетики процесу за Колмогоровим.
10. Роль межфазової поверхні на стадії гомогенного зародження кристалів.
11. Гомогенне утворення зародків кристалізації. Розмір тривимірного критичного зародка. Його залежність від рушійної сили кристалізації.
12. Робота утворення тривимірного критичного зародка. Правило Гіббса.
13. Імовірність і швидкість утворення тривимірних критичних зародків.
14. Умови перетворення тривимірного критичного зародка на центр кристалізації. Розмір двовимірного критичного зародка. Робота його утворення.
15. Імовірність зародження двовимірних комплексів і параметри процесу спонтанної кристалізації n і np .
16. Залежність швидкості зародження кристалів від пересичення середовища кристалізації. Порівняння теоретичного опису процесу спонтанної кристалізації з експериментом.
17. Вплив розчинних і нерозчинних домішок на процес зародження кристалів. Робота утворення критичного зародка на поверхні нерозчинної домішки в ізотропному наближенні.
18. Гетерогенне зародкоутворення на підкладці з урахуванням анізотропії поверхневої енергії. Форма зародка. Критичний розмір і робота його утворення.
19. Орієнтована (епітаксимальна) кристалізація. Оптимальні умови для її реалізації.
20. Поверхнева енергія. Її анізотропія
21. Структурні елементи поверхні кристала. TLK-модель
22. Залежність вільної енергії сходи від щільності зламів на ній. Термічна шорсткість сходи
23. Термічна шорсткість поверхні. Критерій шорсткості
24. Нормальний ріст кристалів. Кінетика росту кристала з розплаву
25. Кінетика нормального росту кристала з розчину
26. Процес пошарового росту кристалів
27. Концентрація адатомів, довжина дифузійного шляху адатома, Лінійна густина зламів на схдині
28. Швидкість руху елементарних прямолінійних сходи уздовж поверхні пошарово зростаючого кристала
29. Розподіл хімічного потенціалу атомів на поверхні поблизу ізольованої елементарної сходи
30. Кінетика переміщення елементарної сходи

31. Кінетика переміщення ешелону елементарних сходин
32. Залежність швидкості переміщення сходини від її висоти
33. Джерела сходин на поверхні досконалого кристала
34. Механізм шарувато-спірального росту
35. Шарувато-спіральний ріст кристалів з розчину і розплаву
36. Вивчення елементарних актів пошарового росту кристалів в експерименті
37. Вплив домішок на швидкість росту кристала
38. Нерівновагий захват атомарної домішки
39. Утворення напружень, дислокацій, захват маточного середовища
40. Рівноважна форма кристала
41. Метод Гіббса–Кюрі–Вульфа визначення рівноважної форми
42. Метод Странського–Каїшева середніх робіт відриву
43. Форма росту кристала
44. Морфологія поверхні зростаючого кристала
45. Вплив умов росту на морфологію кристала
46. Втрата стабільності форм росту
47. Методи вирощування кристалів з парової фази
48. Кристалізація з пари крізь шар рідкої фази. Ріст ниткоподібних кристалів
49. Методи вирощування кристалів з розчину
50. Методи вирощування кристалів з розплаву

8. Схема нарахування балів

Поточне тестування за темами										Залік	Сума
T1	T2	T3	T4	T5 T6	T7	T8	T9	T10			
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	30	100

T1, T2 ... – теми лабораторних робіт

Тестування з кожної теми складається з 3-ох етапів: 1) виконання лабораторної роботи (3 бали), 2) оформлення роботи (2 бала), 3) відповідь на контрольні запитання (2 бала).

Критерієм оцінювання на заліку слугує якість відповідей на запитання з кожної з 10-ти тем (3 бали за правильні відповіді з кожної теми).

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

Основна література

1. Элементарные процессы роста кристаллов (под ред. А. А. Чернова).– М.: ИЛ, 1959.
2. Хонигман Б. Рост и форма кристаллов.– М.: ИЛ, 1961.

3. Вайнгард У. Введение в физику кристаллизации металлов.– М.: Мир, 1967.
4. Келли А., Гровс Г. Кристаллография и дефекты в кристаллах.– М.: Мир, 1974.
5. Палатник Л. С., Папилов И. И. Ориентированная кристаллизация.– М.: Metallurgy, 1964.
6. Палатник Л. С., Папилов И. И. Эпитаксиальные пленки.– М.: Наука, 1971.
7. Козлова О. Г. Рост и морфология кристаллов.– М.: Изд. МГУ, 1973.
8. Лодиз Р., Паркер Р. Рост монокристаллов.– М.: Мир, 1974.
9. Современная кристаллография (в четырех томах). Т. 3, Образование кристаллов.– М.: Наука, 1980.
10. Богданов В. В. Основи теорії росту кристалів. – Вид. ХНУ ім. В.Н.Каразіна. – 2010.

Допоміжна література

1. Варма А. Рост кристаллов и дислокации.– М.: ИЛ, 1958.
2. Теория и практика выращивания кристаллов. Пер. с англ.– М.: Metallurgy, 1968.
3. Чернов А. А., УФН, **23**, №2, 1961.
4. Лейтвейн Ф., Зоммер-Кулачевски Ш. Кристаллография.– М.: Высшая школа, 1968.
5. Стрикленд-Констебл Р. Ф. Кинетика и механизм кристаллизации.– Ленинград: Недра, 1971.
6. Любов Б. Я. Теория кристаллизации в больших объемах.– М.: Наука, 1975. Пфанн В. Дж. Зонная плавка.– М.: Мир, 1970.
7. Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах. Часть 1 Термодинамика и общая кинетическая теория.– М.: Мир, 1978.
8. Сангвал К. Травление кристаллов: Теория, эксперимент, применение: Пер. с англ.– М.: Мир, 1990.– 492 с.
9. Handbook of Crystal Growth. Edited by D.T.J Hurle. North-Holland, 1993–1995: – Vol. 1: Fundamentals (Parts A and B); – Vol. 2: Bulk Crystal Growth (Parts A and B); – Vol. 3: Thin Films and Epitaxy (Parts A and B).