

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Кафедра електроніки і енергетики

**СИЛАБУС
навчальної дисципліни**

Фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства

вибіркова

Освітньо-професійна програма Мікро- та наносистемна техніка

Спеціальність 153 – Мікро- та наносистемна техніка

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Рівень вищої освіти перший бакалаврський

Мова навчання українська

Розробники: Козярьський Іван Петрович доцент, кандидат фіз.-мат. наук, доцент

Профайл викладача (-ів)

<http://ptcsi.chnu.edu.ua/teachers/%d0%ba%d0%be%d0%b7%d1%8f%d1%80%d1%81%d1%8c%d0%ba%d0%b8%d0%b9-%d1%96%d0%b2%d0%b0%d0%bd-%d0%bf%d0%b5%d1%82%d1%80%d0%be%d0%b2%d0%b8%d1%87/>

Контактний тел. 050 71 49 307

E-mail: i.koziarskyi@chnu.edu.ua

Сторінка курсу в Moodle <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=389>

Консультації Четвер з 15.00 до 16.00.

1. Анотація дисципліни (призначення навчальної дисципліни).

Завданням вивчення дисципліни “Фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства” є:

- дати студентам знання в області теорії, методів та принципів, будови устаткування очищення та підготовки металів і напівпровідникових матеріалів та вирощування об’ємних напівпровідникових кристалів та тонких плівок;
- сформувані практичні навички застосування цих знань.

2. Метою навчальної дисципліни “Фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства” є теоретична і практична підготовка студентів, а також розвиток у них навичок самостійної роботи при вирішенні задач матеріалознавства та технології матеріалів таких як очищення матеріалів, одержання об’ємних та плівкових напівпровідникових матеріалів.

3. Пререквізити. Основи метрології та електричних вимірювань. Хімія

4. Результати навчання

- **знати:** методи та принципи, очистки та одержання напівпровідникових матеріалів, будову устаткування для очистки та одержання об’ємних і плівкових напівпровідникових матеріалів;
- **вміти:** використовувати методи та принципи, очистки та одержання напівпровідникових матеріалів.

Програмні результати навчання:

Застосовувати знання і розуміння математичних методів для розв’язання теоретичних і прикладних задач мікро- та наносистемної техніки.

Застосовувати знання і розуміння фізики, відповідні теорії, моделі та методи для розв’язання практичних задач синтезу пристроїв мікро- та наносистемної техніки.

Оцінювати характеристики та параметри матеріалів пристроїв мікро- та наносистемної техніки, знати та розуміти основи твердотільної та оптичної електроніки, наноелектроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, мікропроцесорної техніки.

Застосовувати навички планування та проведення експерименту для перевірки гіпотез та дослідження явищ мікрота наноелектроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, складати схеми пристроїв, аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.

Проектувати пристрої мікро- та наносистемної техніки у відповідності до вимог замовника і наявних ресурсних обмежень.

5. Опис навчальної дисципліни

5.1. Загальна інформація

Фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства												
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин					Вид підсумкового контролю	
			кредитів	годин	Змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота		індивідуальні завдання
Денна, дистанційна	2	3	6	180	3	30			30	120		Екзамен

5.2. Дидактична карта навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. Основи теорії хімічного зв'язку й закономірності утворення напівпровідників. Фазові рівноваги в напівпровідникових системах. Одержання чистих напівпровідникових матеріалів.						
Тема 1.1. Типи хімічного зв'язку. Іонний зв'язок. Металевий зв'язок. Молекулярний зв'язок (сили Ван-дер-Ваальса). Водневий зв'язок. Ковалентний зв'язок.	7	2				5
Тема 1.2. Хімічні зв'язки в напівпровідниках, похідних від $A^N B^{8-N}$. Сполуки $A^{IV} B^{VI}$ та $A^V_2 B^{VI}_3$. Потрійні напівпровідникові сполуки	7	2				5
Тема 2.1. Діаграми фазової рівноваги.	6	1				5
Тема 2.2. Т-Х-діаграми стану бінарних систем із необмеженою розчинністю компонентів.	7	1				6
Тема 2.3. Діаграми стану систем з обмеженою розчинністю компонентів Діаграми стану з евтектичним перетворенням. Діаграми стану з перитектичним перетворенням	8	2				6
Тема 2.4. Діаграми стану з хімічними сполуками компонент	7	2				5
Тема 2.5. Кристалізація в нерівноважних умовах Діаграма фазових рівноваг з простою евтектикою. Ліквіація. Діаграми стану з евтектичним перетворенням.	8	2				6
Тема 3.1. Кристалізаційні методи очищення Класифікація речовин за ступенем чистоти.	8	2				6
Тема 3.2. Коефіцієнт розподілу домішок Рівноважний коефіцієнт розподілу домішок. Ефективний коефіцієнт розподілу домішок. Методи очищення кристалізацією	8	2				6
Разом за змістовим модулем 1	66	16				50
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 Вирощування об'ємних напівпровідникових монокристалів. Одержання тонких плівок.						
Тема 4.1. Одержання кристалів із рідкої фази.	8	2				6
Тема 4.2. Вирощування кристалів із розплаву Методи нормальної спрямованої кристалізації. Метод Бріджмена. Методи витягування кристалів із розплаву. Метод Чохральського. Вирощування кристалів методами зонної плавки	9	2				7
Тема 4.3. Одержання кристалів із газоподібної фази Метод сублимації-конденсації. Метод хімічних реакцій. Метод хімічного транспорту	9	2				7
Тема 5.1. Метод термічного випаровування	8	2				6
Тема 5.2. Одержання тонких плівок металів та напівпровідників методом магнетронного розпилення на постійному струмі	8	2				6
Тема 5.3. Одержання тонких плівок напівпровідників методом ВЧ-магнетронного розпилення	8	2				6

Тема 5.4. Одержання тонких плівок напівпровідників методом спреї-піролізу	7	1			6
Тема 5.5. Метод електронно-променевого випаровування	7	1			6
Разом за змістовим модулем 2	64	14			50
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. Лабораторні роботи					
Лабораторні роботи	50			30	20
Разом за ЗМ 3	50			30	20
Усього годин	180	30		30	120

5.3. Зміст завдань для самостійної роботи

№	Назва теми	К-ть годин
1	Типи хімічного зв'язку.	5
2	Хімічні зв'язки в напівпровідниках, похідних від $A^N B^{8-N}$.	5
3	Діаграми фазової рівноваги	5
4	T-X-діаграми стану бінарних систем із необмеженою розчинністю компонентів.	6
5	Діаграми стану систем з обмеженою розчинністю компонентів	6
6	Діаграми стану з хімічними сполуками компонент	5
7	Кристалізація в нерівноважних умовах	6
8	Кристалізаційні методи очищення	6
9	Коефіцієнт розподілу домішок	6
10	Одержання кристалів із рідкої фази	6
11	Вирощування кристалів із розплаву	7
12	Одержання кристалів із газоподібної фази	7
13	Метод термічного випаровування	6
14	Одержання тонких плівок металів та напівпровідників методом магнетронного розпилення на постійному струмі	6
15	Одержання тонких плівок напівпровідників методом ВЧ-магнетронного розпилення	6
16	Одержання тонких плівок напівпровідників методом спреї-піролізу	6
17	Метод електронно-променевого випаровування	6

5.4. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Виготовлення та підготовка ампул для вирощування напівпровідникових кристалічних матеріалів	5
2	Розрахунок маси вихідних елементарних компонент напівпровідникових матеріалів та їх зважування	5
3	Градування двозонної печі за допомогою термопари	5
4	Очищення матеріалів методом зонної перекристалізації	5
5	Вирощування кристалів методом Бріджмена	5
6	Вирощування кристалів методом Чохральського	5
7	Разом	30

6. Система контролю та оцінювання

Види та форми контролю

Форми поточного контролю: усні та письмові (тестування, лабораторні роботи) відповіді студента.

Форма підсумкового контролю: екзамен.

Засоби оцінювання

Засоби оцінювання та демонстрування результатів навчання:

- контрольні роботи;
- стандартизовані тести;
- завдання на лабораторному обладнанні, тренажерах, реальних об'єктах тощо;
- інші види індивідуальних та групових завдань.

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів за шкалою ECTS та національною шкалою на екзамені з дисципліни "Фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства"

Знання студентів на екзамені оцінюється як з теоретичної, так і з практичної підготовки. Студент має відповісти на три питання до дисципліни «Фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства», які поставлені у відповідному білеті. За відповідь на перше і друге питання у білеті студент може максимально одержати по 13 балів, на третє питання – 14 балів. Результати іспиту оцінюються відповідно до прийнятої уніфікованої університетської шкали: 40 балів від загальної 100-бальної, при цьому:

0–13 балів. Студент виявляє слабке уявлення про теорію, методи та способи одержання напівпровідників та виготовлення напівпровідникових матеріалів.

14-19 балів. Студент має фрагментарні уявлення з предмета вивчення і може відтворити окремі його частини; знає основні методи та способи одержання напівпровідників та виготовлення напівпровідникових матеріалів, але не розуміє їх призначення і суть фізичних явищ, що лежать в основі цих методів.

20-27 балів. Студент знає окремі факти, що стосуються теорії методів та способів одержання напівпровідників та виготовлення напівпровідникових матеріалів; знає та розуміє основні закономірності предмету вивчення.

28-29 балів. Студент за допомогою викладача відтворює окремі частини начального теоретичного матеріалу, дає визначення основних понять і формулює окремі закони й закономірності, що розглядалися в курсі.

30-32 бала. Студент самостійно відтворює значну частину навчального матеріалу, формулює закони й закономірності, що розглядалися в курсі, але допускає несуттєві помилки; може пояснити теорію, методи та способи одержання та виготовлення напівпровідникових матеріалів.

33-35 балів. Студент самостійно відтворює фактичний і теоретичний навчальний матеріал, пояснює теорію, методи та способи одержання та виготовлення напівпровідникових матеріалів, узагальнює їх і надає кількісну характеристику з використанням математичного апарату, але допускає неточності.

36-40 балів. Студент вільно володіє засвоєними знаннями і використовує їх у нестандартних ситуаціях, самостійно оцінює суть теорії, методів та способів одержання та виготовлення напівпровідникових матеріалів, встановлює зв'язки між теоретичними викладками та практичними методами, має системні знання з предмета, аргументовано використовує їх, у тому числі в проблемних ситуаціях; самостійно знаходить і використовує інформацію згідно з поставленим завданням; аналізує додаткову інформацію.

У відомість обліку успішності та залікову книжку (індивідуальний навчальний план) студента заноситься сумарна кількість балів поточного (0-60 балів) та підсумкового контролю (іспит; 0-40 балів) згідно такої таблиці:

Шкала переведення балів, отриманих студентом за результатами поточного та підсумкового контролів

Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS	
	Оцінка (бали)	Пояснення за розширеною шкалою
Відмінно	A (90-100)	відмінно
Добре	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
Задовільно	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
Незадовільно	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим повторним курсом

Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)									Кількість балів (екзамен/залік)	Сумарна к-ть балів
Змістовий модуль 1				Змістовий модуль 2				Змістовий модуль 3	40	100
T1	T2	T3	T4	T10	T11	T12	T13	T18		
2	2	2	2	2	2	2	2			
T5	T6	T7	T8	T9	T14	T15	T16	T17		
2	2	2	3	3	3	3	3	3		

T1, T2 ... T18 – теми змістових модулів.

7. Рекомендована література

основна

1. Фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства : навчальний посібник / укл.: Майструк Е. В., Козярський І. П., Козярський Д. П., Мар'янчук П. Д. Чернівці : Рута, 2020. 120 с.
2. Акчурин, Р. Х. МОС-гидридная епитаксия в технологии материалов фотоники и электроники : практическое пособие : / Р. Х. Акчурин, А. А. Мармалюк. – Москва : Техносфера, 2018. – 488 с.
3. Смирнов, В. А. Физические основы микроэлектроники : учебное пособие : / В. А. Смирнов, О. В. Шуваева. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 231 с.
4. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : учебное пособие : в 2 частях / М. А. Королёв, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева, В. И. Шевяков ; под общ. ред. Ю. А. Чаплыгина. – 4-е изд., электрон. – Москва : Лаборатория знаний, 2020. – 400 с.
5. Родионов, Ю. А. Технологические процессы в микро- и нанoeлектронике : учебное пособие : / Ю. А. Родионов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 353 с.
6. Нанoeлектроника: теория и практика : учебник / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина. – 5-е изд., электрон. – Москва : Лаборатория знаний, 2020. – 369 с.
7. Васильев, В. Ю. Технология тонких пленок для микро- и нанoeлектроники : учебное пособие : / В. Ю. Васильев ; Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 107 с.

допоміжна

1. Диаграммы плавкости двухкомпонентных систем, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком и ограниченно растворимы в твердом состоянии: учебно-методическое пособие по теме «Фазовое равновесие в органических системах» : в 4 частях : / сост. М. С. Афанасьева, М. Б. Никишина, Е. В. Иванова, О. С. Половецкая [и др.]. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2019. – Часть 4. – 89 с.
2. Физикохимия неорганических композиционных материалов : учебное пособие / А. И. Хацринов, Ю. А. Хацринова, А. З. Сулейманова, О. Ю. Хацринова ; Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2016. – 116 с.
3. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур: лабораторный практикум по нанотехнологиям : учебное пособие / ред. А. С. Сигов. – 6-е изд. (эл.). – Москва : Лаборатория знаний, 2021. – 187 с.

8. Інформаційні ресурси

1. Дистанційне навчання
2. Література по курсу
3. Інтернет.