

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор _____

“ 30 ” серпня 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА
НОРМАТИВНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика поверхні і наноматеріали

(шифр і назва навчальної дисципліни)

спеціальність

105 Прикладна фізика та наноматеріали

(шифр і назва спеціальності)

Фізико-технічний факультет

(назва факультету)

Івано-Франківськ
2022 рік

Робоча програма вибіркової дисципліни **«Фізика поверхні і наноматеріали»** для студентів освітнього рівня доктор філософії за спеціальністю **«Прикладна фізика та наноматеріали»**
„26” серпня 2022 р.

Розробник:

Коцюбинський Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри матеріалознавства і новітніх технологій, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

Протокол № 1 від “29” серпня 2022 р.

Завідувач кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

“29” серпня 2022 р. _____ Богдан ОСТАФІЙЧУК

Схвалено методичною комісією фізико-технічного факультету.

Протокол від “30” серпня 2022 р. № 1

“30” серпня 2022 р.

Голова _____
(підпис)

Михайло ЯЦУРА
(прізвище та ініціали)

© Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2022 рік

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 3	Галузь знань <u>10</u> <u>Природничі науки</u> (шифр і назва)	Вибіркова
	Спеціальність 105 прикладна фізика і наноматеріали (шифр і назва)	
Модулів – 1		Рік підготовки:
Змістових модулів – 1		III-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання (назва)		Семестр
Загальна кількість годин - 90		<u>1</u> -й
		Лекції
Тижневих годин для денної форми навчання: 2 аудиторних 1 самостійної роботи студента – 1	Освітній рівень: <u>Доктор філософії</u>	<u>20</u> год.
		Практичні
		10 год.
		Лабораторні
		0
		Самостійна робота
		<u>60</u> год.
		Індивідуальні завдання:
	<u>0</u> год.	
	Вид контролю:	
	іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:
для денної форми навчання – 1:1

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Курс «Фізика поверхні і наноматеріали» є вибірковою дисципліною при підготовці доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є набуття студентами компетентності системного розуміння особливостей характеристик поверхні матеріалів та змін властивостей при переході до ультра дисперсних систем. Передбачається розвиток компетентностей в методах і методиках фізичного дослідження; у виконанні експериментально-дослідних робіт; у роботі з науковою літературою й інформаційними ресурсами, необхідними при проведенні наукових досліджень.

Завдання дисципліни – сформувані в студентів розуміння про основні структурні, морфологічні та електронні характеристики поверхні твердого тіла та змін властивостей при переході до нанорозмірів, взаємодію поверхні з частинками середовища, методи отримання та дослідження поверхні та вплив поверхні на властивості твердого тіла.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати :

методи дослідження структури, складу і фізичних властивостей поверхні і тонких плівок; методи отримання напівпровідникових надтонких плівок; механізми формування нанорозмірних структур; особливості формування епітаксійних нанорозмірних структур; процеси на поверхні твердих тіл; теоретичні основи зародження і росту наночастинок; фізичну сутність процесів, що протікають в провідних, напівпровідникових, діелектричних, магнітних матеріалах і в структурах, створених на основі цих матеріалів, в тому числі і при дії зовнішніх полів і зміні температури; сучасні тенденції в розвитку фізики твердого тіла і ультра дисперсних матеріалів, приладів і пристроїв на їх основі; мати уявлення про квантові структури, нитки, точки.

вміти:

аналізувати процеси, що відбуваються в результаті адсорбції (хемосорбції) на поверхні твердого тіла даного типу певної концентрації іонів (груп); передбачати хід адсорбційної взаємодії на атомарно - чистих та реальних поверхнях, передбачити формування адсорбційної фази певного типу; вирішувати матеріалознавчі завдання, виконувати кількісні оцінки величини ефектів і характеристичних параметрів з урахуванням особливостей кристалічної структури, електронного та фононного спектрів, типу і концентрації легуючих домішок; самостійно освоювати і застосовувати результати експериментальних і теоретичних досліджень в області фізики твердого тіла і ультра дисперсних матеріалів; самостійно вибирати методи і об'єкти досліджень;

володіти:

стандартною термінологією, визначеннями і позначеннями; методами обґрунтованого вибору дослідницького обладнання, оцінкою ефективності його роботи та адекватності поставленої конкретної задачі; методами аналізу і оцінки отриманих результатів та аргументацією для підтвердження зроблених на їх основі висновків та прийнятих рішень; раціональними методами аналізу та обробки науково-технічної інформації.

Компетентності, що формуються під час вивчення дисципліни:

ЗК.1. Розуміння концептуальних та методологічних засад у галузі науково-дослідної та/або професійної діяльності.

ЗК.3. Здатність застосовувати у науковій та/або практичній діяльності сучасні знання з галузей, використовувати новітні інформаційні та комунікаційні технології.

ЗК. 8. Здатність дотримуватися професійної етики, правил академічної доброчесності у наукових дослідженнях та викладацькій діяльності.

ФК.1. Здатність реалізувати самостійну науково-дослідницьку та науково-педагогічну діяльність у галузі прикладної фізики та нанотехнологій з використанням новітніх наукових знань.

ФК.2. Здатність формулювати основні атрибути прикладної фізичної задачі, будувати її модель, визначати завдання фізичного дослідження.

ФК.3. Здатність аналізувати і узагальнювати результати сучасних досліджень у галузі, адаптувати їх для вирішення наукових і прикладних проблем у галузі прикладної фізики.

Очікувані результати навчання

ПРН. 1. У результаті навчання здобувачі повинні набути знання і вміння, які дозволяють застосовувати сучасні концептуальні поняття у галузі фізики, прикладної фізики, суміжних галузей знань, зокрема, методології та принципів побудови наукових досліджень, для здійснення професійної діяльності.

ПРН. 2. Знання – фундаментальних праць провідних вітчизняних і зарубіжних вчених у галузі прикладної фізики і суміжних наук.

ПРН. 3. Знання поглибленого рівня у сфері фізики, технології речових інтервалів, сучасних методів дослідження їх властивостей.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 90 годин / 3 кредити ЄКТС.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1

Фізика поверхні і наноматеріали

Тема 1 Поверхня твердого тіла – базові поняття

Вступ. Вступ. Роль поверхні в різних фізико-хімічних процесах. Роль поверхні в фізиці і хімії твердого тіла. Поверхні ідеальні і неідеальні. Поняття про атомарно-чистої гладкої поверхні. Методи отримання чистих поверхонь: скол у вакуумі, прогрів в вакуумі, іонне бомбардування, холодна емісія, епітаксійне нарощування. Шаруваті кристали.

Тема 2 Кристалографічні та морфологічні характеристики поверхні

Двовимірні кристалічна решітка, двовимірні решітки Браве. Позначення поверхонь монокристалів і атомних структур. Зміна міжплощинних відстаней біля поверхні. Поняття шорсткості поверхні. Релаксація поверхні іонних кристалів. Полярні і неполярні поверхні.

Тема 3. Реконструкція поверхні

Реконструкція поверхні металів. Можливість зміни валентності на поверхні. Реконструкція на поверхні напівпровідників. Кремній (111). Фасетування поверхні. Вплив дефектів на структуру поверхні. Зміна електронної структури, роботи виходу,

поверхневої провідності і т.п. при реконструкції. Коливання поверхневих атомів. Середньоквадратичний зсув атомів на поверхні, температура Дебая, термічне розширення на поверхні.

Тема 4. Електронні властивості поверхні твердого тіла.

Поверхневі стани Тамма. Поверхневі стани Шоклі. Можливості зміни ширини забороненої зони на поверхні. Зв'язані поверхневі стани, резонансні і антирезонансні поверхневі стани. Вплив реконструкції поверхні. Локальна щільність електронних станів.

Тема 5. Поверхня металу - електронні властивості поверхні твердого тіла. Емісійні явища на поверхні твердого тіла

Експериментальні дослідження електронної структури поверхні металів. Зміна потенціалу і розподіл електронної щільності у поверхні. Желе-модель металу. Метод функціонала густини: електронний газ з постійною густиною. Способи реалізації методу функціонала густини: розширений метод Томаса-Фермі, удосконалений метод Хартрі, варіаційний метод. Електронна густина і потенціал біля поверхні. Робота виходу. Поляризаційна складова роботи виходу. Подвійний електричний шар. Роль шорсткості поверхні. Поверхнева енергія. Врахування атомної структури поверхні. Взаємодія заряду з поверхнею.

Тема 6. Адсорбція

Кінетика адсорбції. Теорія Ленгмюра. Ізотерма Ленгмюра. Полімолекулярних адсорбція, теорія БЕТ. Фізична і хімічна адсорбція. Сили, що призводять до фізичної адсорбції: орієнтаційні, поляризаційні, дисперсійні, репульсивні. Потенціал Леннарда-Джонса. Модель парних взаємодій. Хімічна зв'язок: метод молекулярних орбіталей, теорія валентних зв'язків. Заселеність перекривання, локальна щільність станів. Електронний стан адатомів. Просторовий розподіл електронної густини.

Тема 7. Поверхня напівпровідників: область просторового заряду та її характеристики

Область просторового заряду. Область просторового заряду в термодинамічній рівновазі. Виникнення областей просторового заряду в обмежених кристалах. Основне рівняння ОПЗ. Електричне поле в ОПЗ і на межі розділу. Електростатичне екранування носіями заряду. Просторові характеристики ОПЗ. Типи ОПЗ. Повний заряд ОПЗ. Диференціальна ємність ОПЗ. Область просторового заряду в нерівноважних умовах. Квазірівновага в ОПЗ.

Тема 8. Методи отримання та очистки поверхонь. Методи дослідження поверхні твердого тіла.

Обробка поверхні і умови збереження її властивостей. Методи отримання атомарно - чистої поверхні твердого тіла. Експериментальні методи приготування і очищення реальних поверхонь твердого тіла.

Морфологія поверхні. Мікроскопічні дослідження. Оптичні дослідження поверхні. Дифракція рентгенівських променів та електронів. Структурний аналіз аморфних поверхонь. Хімічний склад і дефекти поверхні. Рентгенівська фотоемісія в дослідження поверхні НП. Оже –спектроскопія в дослідження поверхні НП. Інфрачервона спектроскопія в дослідження поверхні НП. гамма-резонансні методи в дослідження поверхні.

Тема 9. Особливості наноматеріалів. Вплив нанорозмірних ефектів на характеристики ультрадисперсних матеріалів.

Наноматеріали та нанотехнології. Типи наноматеріалів. Причини зміни властивостей. Особливості властивостей наноматеріалів. Класифікація наноматеріалів. Характеристики дисперсних систем. Пористість. Ліофільні та ліофобні системи. Хімічна термодинаміка. Поверхнева енергія. Тиск під викривленою поверхнею. Зародкоутворення. Гомогенне ізотропне зародкоутворення. Критичний розмір і склад ізотропного зародка. Гетерогенна енуклеація. Гідрокомплекси і нуклеація у водних розчинах. Організація і самоорганізація колоїдних структур. Стійкість дисперсних систем. Коагуляція ліофобних колоїдів. Коагуляція золів електролітами.

Тема 10. Наноматеріали. Методики отримання.

Отримання нанодисперсних матеріалів. Методи отримання наночастинок. Конденсація і диспергування. Класифікація методів отримання нанопорошків. Золь-гель синтез. Кріогенний метод. Синтез в нанореакторах. Темплатний синтез. Осадження. Осадження з розплаву. Фізичне осадження з газової фази. Плазмохімічний синтез. Механічне диспергування. Механохімічний синтез. Іонна імплантація. Високотемпературний автосинтез. Вибухове випаровування. Іонне розпилення. Катодне розпилення. Магнетронне розпилення. Термічне випаровування.

**4. Структура навчальної дисципліни
(денна форма навчання)**

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
Фізика поверхні і наноматеріали						
Тема 1 Поверхня твердого тіла – базові поняття	9	2	1			6
Тема 2 Кристалографічні та морфологічні характеристики поверхні	9	2	1			6
Тема 3. Реконструкція поверхні	9	2	1			6
Тема 4. Електронні властивості поверхні твердого тіла.	9	2	1			6
Тема 5. Поверхня металу - електронні властивості поверхні твердого тіла. Емісійні явища на поверхні твердого тіла	9	2	1			6
Тема 6. Адсорбція	9	2	1			6
Тема 7. Поверхня напівпровідників: область просторового заряду та її характеристики	9	2	1			6
Тема 8. Методи отримання та очистки поверхонь. Методи дослідження поверхні твердого тіла	9	2	1			6
Тема 9. Особливості наноматеріалів. Вплив нанорозмірних ефектів на характеристики ультрадисперсних матеріалів	9	2	1			6
Тема 10. Наноматеріали. Методики отримання	9	2	1			6
Разом за змістовим модулем	90	20	10	0	0	60
Усього годин	90	30	30	0	0	60

5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Поверхня твердого тіла – базові поняття	1
2.	Кристаліграфічні та морфологічні характеристики поверхні	1
3.	Реконструкція поверхні	1
4.	Електронні властивості поверхні твердого тіла.	1
5.	Поверхня металу - електронні властивості поверхні твердого тіла. Емісійні явища на поверхні твердого тіла	1
6.	Адсорбція	1
7.	Поверхня напівпровідників: область просторового заряду та її характеристики	1
8.	Методи отримання та очистки поверхонь. Методи дослідження поверхні твердого тіла	1
9.	Особливості наноматеріалів. Вплив нанорозмірних ефектів на характеристики ультрадисперсних матеріалів	1
10.	Наноматеріали. Методики отримання	1
	Разом:	10

6. Самостійна робота (денна форма навчання)

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Шаруваті структури: типи, властивості, особливості будови	6
2.	Релаксація поверхні іонних кристалів. Полярні і неполярні поверхні.	6
3.	Коливання поверхневих атомів. Середньоквадратичний зсув атомів на поверхні, температура Дебая, термічне розширення на поверхні.	6
4.	Реконструкція поверхні та локальна щільність електронних станів.	6
5.	Поняття про способи та програмні засоби розрахунку властивостей поверхонь твердих квантово-механічними методами. Врахування атомної структури поверхні при описі взаємодії заряду з поверхнею.	6
6.	Моделі взаємодії газ - тверде тіло. Узагальнена модель взаємодії. Граткові моделі. Моделі жорстких і м'яких кубів. Квантові моделі розсіяння газу поверхнею.	6
7.	Хімічний склад і дефекти поверхні.	6
8.	Резонансні методи дослідження поверхні твердого тіла.	6
9.	Зонна структура двомірного графенового листа.	6
10.	Графенові нанострічки. Функціоналізований графен	6
	Разом:	60

7. Індивідуальні завдання

Студенти виконують проект у формі презентації відповідно до питань, які виносяться на самостійне вивчення або з питань які необхідно вивчити більш детально. Оцінювання проводиться на практичному занятті або на годинах, виділених для контролю за самостійною роботою студентів. Також студенти готуються до практичних робіт відповідно до індивідуальних завдань.

8. Методи навчання

Теоретичні методи (бесіда, лекція, пояснення), наочні методи (демонстрації приладів, моделей, схем, малюнків, презентацій), робота у онлайн-режимі (Zoom, Google meet, d-learn).

9. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль – практичні роботи – 40 балів, самостійна робота – 10 балів, іспит – 50 балів. Сумарна оцінка за семестр, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

10. Шкала оцінювання

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
80 – 89	B	добре	
70 – 79	C		
60 – 69	D	задовільно	
50 – 59	E		
26 – 49	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-25	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

11. Рекомендована література

Основна література

Базова

1. Аморфні та мікрокристалічні матеріали. Навчально-методичний посібник / І.П. Яремій, Р.В. Ільницький, С.І. Яремій – Івано-Франківськ, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2011. – 62 с.
2. І.П. Яремій Структура і властивості аморфних матеріалів. / Івано-Франківськ, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2014. – 120 с.
3. Ющенко, К.А. Інженерія поверхні [Текст] : Підручник для студентів навчальних закладів / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, та інш.; – К.: Наук. думка, 2007. – 558 с.
4. Харламов, Ю.О. Фізика, хімія та механіка поверхні твердого тіла [Текст]: Навчальний посібник / Ю.О. Харламов, М.А. Будаг'янець - Луганськ: Вид-во СУДУ, 2000. - 624 с.

5. Кузнецов, В.Д. Фізико-хімічні основи інженерії поверхні [Текст]: Навч. посібник / В.Д. Кузнецов, К.А. Ющенко, Ю.С. — Київ: ВІПОЛ, 2005. - 372 с.
6. О.І. Товстолиткін, М.О. Боровий, В.В. Курилюк, Ю.А. Куницький. Фізичні основи спітроніки. Навчальний посібник. Вінниця, Нілан-ЛТД, 2014. 500 с.
7. Д. Д. Шека, Основи магнетизму: Методичний посібник для студентів - К.: КНУ, 2012, 74 с.

Допоміжна

8. A. Hubert and R. Schafer, Magnetic domains: the analysis of magnetic microstructures, Springer-Verlag, 2000.
 9. M. Getzlaff. Fundamentals of Magnetism. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 2008. 387 p.
 10. J.P. Liu, E. Fullerton, O. Gutfleish, D.J. Sellmyer. Nanoscale Magnetic Materials and Applications. - Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 2009. - 720 p.
 11. J. Stohr and H. C. Siegmann, Magnetism: From Fundamentals to Nanoscale Dynamics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
 12. A. Aharoni, Introduction to the theory of Ferromagnetism, Oxford University Press, 1996.
 13. А.П. Шпак, Ю.А. Куницький, М.І. Захаренко, А.С. Волощенко. Магнетизм аморфних та нанокристалічних систем. Київ: Академперіодика, 2003 208 с.
 14. С. В. Вонсовський, Магнетизм. М., Наука, 1971
 15. О. В. Третяк, В. А. Львов, О. В. Барабанов, Фізичні основи спінової електроніки, К., 2002.
 16. Denny D. Tang, Yuan-Jen Lee, "Magnetic Memory: Fundamentals and Technology", Cambridge University Press, 2010
 17. Alberto P. Guimaraes, "Principles of Nanomagnetism", Series: NanoScience and Technology, Springer, 2009.
 18. Sellmyer, D., Skomski, R. Advanced Magnetic Nanostructures, Springer, 2006.
 19. N.A. Spaldin. Magnetic Materials: Fundamentals and Applications. Cambridge, Cambridge University Press, 2011. 274 p.
 20. Губар, Є.Я. Практикум з матеріалознавства [Текст]: Навч. посіб. / Є.Я. Губар, І.І. Фенько. - М-во освіти і науки України, Черкас, держ. технол. ун-т. - Черкаси : ЧДТУ, 2010. - 235 с.
 21. Большаков, В.І. Прикладне матеріалознавство [Текст]: Навчальний посібник / В.І.Большаков, О.Ю.Берега, В.І. Харченко – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-VAL», 2000. – 290 с.
 22. А.Р. Guimaraes. Principles of Nanomagnetism. - Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 2008. - 222 p
- Інформаційні ресурси
23. <http://nano.com.ua/>
 24. <http://www.all-fizika.com/news/nano.php>
 25. <http://elibrary.ru/item.asp?id=9232602>
 26. http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/05_04/NANO.HTM
 27. <http://math.nist.gov/oommf/>