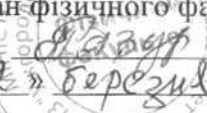


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Фізичний факультет
Кафедра прикладної фізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан фізичного факультету

«02» березня 2023 року



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Рівень вищої освіти
Галузь знань
Спеціальність
Освітня програма
Статус дисципліни
Мова навчання

другий (магістерський)
10 природничі науки
105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітньо – професійна програма
вибіркова
українська

Ужгород 2023 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Сучасні методи досліджень наноматеріалів» для здобувачів вищої освіти галузі знань 10 природничі науки спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали, Освітньо – професійна програма

Розробник: Біланич В.С. доцент, кандидат фізико-математичних наук

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри прикладної фізики

Протокол № 8 від «23» 02 2023 року

Завідувач кафедри прикладної фізики  (Небола І.І.)

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 7 від «02» 03 2023 року

Голова науково-методичної комісії  (Карбованець М.І.)

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів - 4	Рік підготовки	
Загальна кількість годин – 120	1- й	
Кількість модулів – 2	Семестр	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студентів – 4	2- й	
	Лекції	
	22 год.	
	Практичні (семінарські)	
Вид підсумкового контролю: залік	Лабораторні	
	20 год.	
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота	
	78 год.	

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 42 / 78

для заочної форми навчання – відсутня

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Сучасні методи досліджень наноматеріалів» є фундаментальна теоретична і практична підготовка студентів з питань розвитку сучасних методів дослідження наноматеріалів, застосування їх у фізиці та хімії твердого тіла, матеріалознавстві, фізиці наноматеріалів і композитів, фізиці поверхні; ознайомлення студентів з фізичними основами методів досліджень наноматеріалів; методами обробки та представлення результатів досліджень наноматеріалів; програмним забезпеченням для обробки файлів експериментальних даних при дослідженні наноматеріалів.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

- загальні компетенції (ЗК):

- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК2);

- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК5);

- здатність до проведення досліджень на відповідному рівні (ЗК6);

- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК7);

- здатність працювати в команді (ЗК8).

фахові компетенції (ФК):

- здатність відповідно до поставленої задачі виконувати науково-технічні розробки в галузі прикладної фізики та наноматеріалів (ФК4);

- здатність самостійно опановувати нову апаратуру та технології, в тому числі із суміжних галузей, для розв'язання виробничих задач (ФК5);

- здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження (ФК6);

- здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій (ФК8);

- здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. (ФК9).

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Сучасні методи досліджень наноматеріалів» є наявність у студентів знань та навичок, здобутих раніше під час вивчення таких дисциплін: Математичний аналіз, Прикладна механіка, Теплові явища і молекулярна фізика, Електричні і магнітні явища, Оптичні явища.

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми вивчення навчальної дисципліни «Сучасні методи досліджень наноматеріалів» повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Знаходити та аналізувати наукову та науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики та наноматеріалів із вітчизняних та зарубіжних джерел, в тому числі з використанням сучасних пошукових систем	ПРН02
Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію	ПРН 03

в галузі прикладної фізики	
Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.	ПРН05
Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів	ПРН 08
Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.	ПРН09

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Сучасні методи досліджень наноматеріалів»:

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
знати основні сучасні технології синтезу наноматеріалів, основні методи вимірювань їх фізичних параметрів, області практичного використання;	ПРН02
знати сучасні вимірювальні прилади та системи для досліджень фізичних явищ та процесів у наноматеріалах;	ПРН02
знати спеціалізоване програмне забезпечення для представлення результатів досліджень наноматеріалів;	ПРН02
знати фізичні основи роботи нанозондових технологій досліджень фізичних явищ та вимірювання фізичних параметрів матеріалів у нанообласті;	ПРН02
знати фізичний зміст основних процесів, що відбуваються при проходженні тунельного струму в області зонд-поверхня при атомно-силовій, магнітній, електричній взаємодії зондів з поверхнею.	ПРН03
вміти формулювати основні фізичні принципи скануючої зондової мікроскопії та дифракції рентгенівських променів низькорозмірними та нанорозмірними системами;	ПРН05
вміти використовувати спеціалізоване програмне забезпечення (NanoScope Analysis) для обробки та візуалізації результатів сканування поверхні з допомогою атомно-силового мікроскопа;	ПРН08
вміти використовувати програму Gwyddion для обробки та представлення експериментальних результатів по скануванні поверхні конденсованих систем методом зонда Кельвина;	ПРН08
вміти планувати експериментальні дослідження основних параметрів атомно-просторової структури низькорозмірних та нанорозмірних систем, атомно-просторової структури поверхні конденсованих систем.	ПРН09

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- поточний контроль успішності,
- проміжний модульний контроль,
- підсумковий семестровий контроль.

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю:

- вибіркове усне опитування перед початком занять;

- фронтальне усне та/або письмове опитування за основними питаннями теми заняття;
- експрес-опитування;
- реферативні повідомлення та їх обговорення;
- перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи;
- оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.

Форма модульного контролю: виконання модульної контрольної роботи, результати якої оцінюються за 100-бальною шкалою за кожний модуль.

Форма підсумкового семестрового контролю: залік. До заліку допускаються студенти, які відпрацювали пропущені заняття і виконали модульні контрольні роботи.

Оцінювання знань студентів здійснюється на основі результатів:

- поточного контролю знань;
- проміжного модульного контролю знань ;
- підсумкового семестрового контролю знань – залік.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	60	100
10	10	10	10		

T - T4 – теми.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	60	100
10	10	10	10		

T5 – T8 – теми

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Практичні (семінарські) заняття	-	-	-	-
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)	2	20	2	20
Комп'ютерне тестування при тематичному оцінюванні	-	-	-	-
Реферативна доповідь	1	10	1	10
Модульна контрольна робота	1	70	1	70
Разом	4	100	4	100

Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

Модульна контрольна робота здійснюється у письмовій формі шляхом відповідей на питання тестових завдань. Кожна правильна відповідь оцінюється певною кількістю балів. Максимальна кількість балів за кожний модуль становить 100 балів. Мінімальна кількість балів, за якої робота вважається виконаною, становить 60 балів.

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «Сучасні методи досліджень наноматеріалів» здійснюється через залік. Залік проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати заліку оцінюються так: Зараховано («відмінно», «добре», «задовільно»), Не зараховано («незадовільно»).

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «Сучасні методи досліджень наноматеріалів» здійснюється у виді заліку. Залік проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати заліку оцінюються за двобальною шкалою: «зараховано», «незараховано».

Підсумкова оцінка «зараховано»/«не зараховано» визначається наступними критеріями:

- оцінка «зараховано» виставляється в тому разі, коли студент бездоганно оволодів всіма розділами програми, дав глибокі, чіткі і вичерпні відповіді на всі основні і додаткові запитання, виявив розуміння фізичної суті програмового матеріалу, демонструє вільне володіння фактичним матеріалом та відповідним математичним апаратом, демонструє здатність до мислення, кваліфіковано використовує набуті знання для розв'язання конкретних практичних задач.

- оцінка «незараховано» виставляється тоді, коли студент не оволодів матеріалом даного курсу, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, коли він під час відповіді на запитання виявив нерозуміння фізичної сутності основних понять та термінів дисципліни, допускає плутанину, слабо володіє математичним апаратом, не може застосовувати набуті знання для розв'язування конкретних практичних задач, тобто виявив відсутність мінімально необхідної кількості знань з даного курсу.

За бажанням студента результуюча підсумкова оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Переведення результатів, отриманих за 100-бальною шкалою оцінювання в національну 4-х бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

Оцінка за шкалою балів	ECTS	
	Оцінка	Характеристика
90 та вище	A	Зараховано (відмінно)
80-89 65-79	B	Зараховано (добре)
	C	Зараховано (добре)
55-64 50-54	D	Зараховано (задовільно)
	E	Зараховано (задовільно)
35-49	FX	Не зараховано (незадовільно з можливістю перескладання)
1-34	F	Не зараховано (незадовільно з обов'язковим повторним навчанням)

Студент, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незадовільно» (1-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни (під час додаткового семестру) і скласти залік.

Результати підсумкового контролю знань із навчальних дисциплін, з яких передбачено залік, заносяться до залікової відомості.

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Кванто-механічні та розмірні ефекти в наноматеріалах.

Тема 1. Розвиток нанотехнологій та ефекти масштабування.

Розвиток нанотехнологій із окремих наукових дисциплін. Залежність фізичних властивостей матеріалів від розмірів структури; особливості прояву розмірних ефектів у 3D-, 2D-, 1D- та 0D-наноструктурах. Ефект масштабування. Співвідношення площі поверхні до об'єму в наноматеріалах. Кванто-механічні ефекти.

Тема 2. Структура і властивості наноматеріалів.

Структурні особливості наноматеріалів. Фізичні, хімічні, механічні властивості наноматеріалів. Принципи класифікації наноматеріалів.

Тема 3. Структура енергетичних зон, локалізовані частинки і квазічастинки.

Діелектрики, напівпровідники, провідники. Обернений простір і ґратка. Енергетичні зони і щілини в напівпровідниках. Ефективні маси. Поверхня Фермі. Локалізовані частинки і квазічастинки, рухливість, екситони.

Тема 4. Плазмонні структури. Фотонні кристали. Спектральні методи досліджень. Плазмонні наноструктури. Оптичні властивості реальних металів. Плазмони. Оптичні властивості сферичних наночастинок. Спектроскопія окремих плазмонних наночасток.

Фотонні кристали. Структура, розмірність фотонних кристалів. Фотонні заборонені зони. Основи теорії фотонних кристалів. Методи формування та дослідження фотонних кристалів. Інфрачервона і раманівська спектроскопія наноматеріалів.

Модуль 2. Мікроскопічні та спектроскопічні методи дослідження наноструктур та наноматеріалів.

Тема 1. Скануюча тунельна мікроскопія (СТМ) та атомно-силова мікроскопія (АСМ).

Фізичні основи скануючої тунельної мікроскопії (СТМ). Тенлювання електронів через потенціальний бар'єр. Основи скануючої зондової мікроскопії (СЗМ) Будова та функціонування скануючого тунельного мікроскопу. Елементи конструкції та режими роботи СТМ. Методи обробки інформації у СТМ. Тунельна спектроскопія. Фізичні основи скануючої атомно-силової мікроскопії (АСМ). Фізичні основи методу атомно-силової мікроскопії. Якісний вид потенціалу Леннарда – Джонса. Апаратура для АСМ. Вимоги та пристрій скануючого елемента для АСМ. Особливості елементів конструкції атомно-силового мікроскопа.

Тема 2. Основні режими роботи атомно-силового мікроскопа.

Основні параметри для аналізу шорсткості та рельєфу поверхні за даними АСМ. Аналіз фрактальної розмірності поверхні за даними АСМ. Контактний режим АСМ та силова спектроскопія Методики реєстрації рельєфу поверхні у контактному режимі роботи АС-мікроскопа. Латерально-силова мікроскопія. Динамічна АСМ у режимі модуляції амплітуди. Фазова модуляція в динамічній АСМ.

Тема 3. Атомна силова мікроскопія електрофізичних властивостей.

Скануюча мікроскопія опору розтікання. Визначення питомого опору за даними SSRM. Електросилові методи АСМ. Кельвін-зонд мікроскопії. Дослідження розподілу поверхневого потенціалу. Скануючий нанотвердомір. Наноіндентування.

Тема 4. Формування та методи обробки АСМ -зображень.

Формування зображень під час сканування поверхні. Використання програми NanoScope Analysis для формування зображень поверхні та визначення параметрів наноструктур. Основні функції та інструменти програми NanoScope Analysis. Модульна програма Gwyddion для візуалізації та аналізу даних скануючої зондової мікроскопії.

6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин - 120					
	Форма навчання: денна					
	Усього 90	у тому числі				
		Лекції 22	практичні (семінарські)	Лабораторні 20	індивідуальна робота	самостійна робота 78
1-й семестр						
Модуль 1						
Тема 1. Розвиток нанотехнологій та ефекти масштабування.	10	2				8
Тема 2. Структура і властивості наноматеріалів.	12	2				10
Тема 3. Структура енергетичних зон, локалізовані частинки і квазічастинки.	16	2		4		10
Тема 4. Плазмонні структури. Фотонні кристали. Спектральні методи досліджень.	16	2		4		10
Модульна контрольна робота	2	2				
Разом за модуль	56	10		8		38
Модуль 2						
Тема 1. Скануюча тунельна мікроскопія (СТМ) та атомно-силова мікроскопія (АСМ).	18	4		4		10
Тема 2. Основні режими роботи атомно-силового мікроскопа.	14	2		2		10
Тема 3. Атомна силова мікроскопія електрофізичних властивостей.	14	2		2		10
Тема 4. Формування та методи обробки АСМ - зображень.	16	2		4		10
Модульна контрольна робота	2	2				
Разом за модуль	64	12		12		40
Всього	120	24		20		78

6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Вимірювання товщини тонких напівпровідникових плівок інтерференційним методом та дослідження розмірних ефектів їх твердості.	4	
2.	Дослідження поверхневого структурування тонких	4	

	халькогенідних плівок під дією поляризованого лазерного опромінення.		
3.	Візуалізація та визначення параметрів електронно індукованих наноструктур на поверхні тонких плівок з допомогою спеціалізованої програми NanoScope Analysis.	4	
4.	3D-візуалізація поверхневих наноструктур у програмі Gwyddion за даними АСМ-сканування,	2	
5.	Дослідження процесів релаксації акумульованого заряду в електронно-індукованих наноструктурах за даними їх АСМ-сканування методом зонда Кельвіна.	4	
6.	Наноіндентування.	2	
Разом		20	-

6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Наноточки, нанотрубки, нанокластери, нанодропи, наноплівки.	4	
2.	Методи електро- та магнітно-силової зондової мікроскопії.	4	
3.	Рух зарядженої частинки в електричному і магнітному полях. Електромагнітні лінзи.	4	
4.	Взаємодія електронного пучка із зразком. Вторинні та відбиті електрони.	2	
5.	Скануючі елементи (сканери) зондових мікроскопів.	4	
6.	Тунельна спектроскопія. Вольт-амперні характеристики тунельних контактів.	4	
7.	Метод малокутового розсіювання рентгенівських променів.	4	
8.	Мікроскопія індукованого електричного поля провідних і діелектричних нанооб'єктів	4	
9.	Конструкція датчика силової взаємодії: кантилевер і зонд атомно-силового мікроскопа. Вимірювальна головка АСМ.	4	
10.	Латеральна роздільна здатність АСМ. Артефакти, обумовлені просторовим розділенням. Атомарне та псевдоатомарне розділення.	4	
11.	Скануючий тунельний мікроскоп. Скануючі елементи. Способи виготовлення СТМ-зондів.	4	
12.	Принципи роботи та конструкції магнітно-силових мікроскопів (МСМ). Взаємодія зонда з магнітними полями зразка.	4	
13.	Енергодисперсний якісний і кількісний мікроаналіз.	4	
14.	Обробка зображень, отриманих у результаті сканування на електронному мікроскопі.	4	
15.	Пройходження світла через отвори з розмірами, меншими за довжину світлової хвилі. Принципи роботи ближньопольових оптичних мікроскопів.	4	
16.	Зонди скануючої ближньопольової оптичної мікроскопії на основі оптичного волокна.	4	
17.	Ближньопольова спектроскопія напівпровідникових структур.	4	
18.	Дослідження фотолюмінесценції квантових точок, ниток та ям з високим просторовим розділенням.	4	
19.	Лазерно індуковане формування нанорозмірних структур на поверхні аморфних халькогенідних плівок.	4	

20.	формування нанорозмірних структур на поверхні аморфних халькогенідних плівок пучком електронного мікроскопа..	4	
	Разом	78	

7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби: Мультимедійний проєктор.

Обладнання: персональні комп'ютери, ноутбуки.

Програмне забезпечення Windows 10, Microsoft Power Point.

Лабораторні стенди, мікротвердомір, джерела світла, лазери, фотодіоди, аморфні плівки та плівки з поверхневими наноструктурами.

Програми NanoScope Analysis, Gwyddion.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Смик С.Ю. Діагностика наносистем. - Київ: Академперіодика, 2003. - 149 с.
2. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої. Боровий М.О., Куницький Ю.А., Каленик О.О., Овсієнко І.В., Цареградська Т.Л. – Київ: «Інтерсервіс», 2015. – 350 с.
3. Поплавко Ю.М., Борисов О. В., Якименко Ю. І. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч.посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
4. Горячко А., Кулик С., Прокопенко О. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії. Підручник. Ч.1. – Київський націон. ун-т ім. Т. Шевченка, 2010. – 133 с.
5. Горячко А., Кулик С., Прокопенко О. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії. Підручник. Ч.2 – Київський націон. ун-т ім. Т. Шевченка, 2012. – 170 с..
6. Наноматеріалознавство і нанотехнології / Кондир А.І. – Навчальний посібник. Львів:Видавництво Львівської політехніки. – 2016. – 452 с.
7. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник / Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М. та інш. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна. – 2014. – 316 с.

Допоміжна література

1. Ткач М.В. Квазічастинки у наногетеросистемах. Квантові точки та дроти: навч. посібник рек. МОНУ.- Чернівці: ЧНУ, 2003.- 316 с.
2. Яблонь Л.С., Бойчук В.М. Фізичні основи нанотехнологій. Курс лекцій. – Івано-Франківськ, 2015. –103 с.
3. Characterization Techniques for Nanomaterials. by Imalka Munaweera, M.L. Chamalki Madhusa, 2023. CRC Press, 128 p.
4. Microscopy Methods in Nanomaterials Characterization. Edited by Sabu Thomas, Raju Thomas, Ajesh K Zachariah, Raghvendra Kumar. 2017. Elsevier. 410 p.
5. Fundamentals of Scanning Probe Microscopy. Victor Mironov, Institute for Physics of Microstructures RAS, 2014, p.99.
6. Nadeem Baig, Irshad Kammakam and Wail Falath. Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. //Materials Advances, 2021, 2, 1821-1871. DOI: 10.1039/d0ma00807a.
7. Vancha Harish and a oth. Nanoparticle and Nanostructure Synthesis and Controlled Growth Methods. //Nanomaterials 2022, 12, 3226, p.1-30. <https://doi.org/10.3390/nano12183226>