

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 НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Методи дослідження поверхні

Освітній рівень третій (освітньо-науковий)

| | |
|------------------|---------------------------------------|
| Освітня програма | Прикладна фізика та наноматеріали |
| Спеціальність | 105 Прикладна фізика та наноматеріали |
| Галузь знань | 10 Природничі науки |

Івано-Франківськ – 2022 рік

Робоча програма спецкурсу «Методи дослідження поверхні»
для підготовки здобувачів третього рівня вищої освіти – доктора філософії
спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали. „___” _____, 2022 р. –
12 с.

Розробник:

Ільницький Р.В. – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри
матеріалознавства і новітніх технологій

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 | заочна форма навчання |
| Кількість кредитів – 6 | Галузь знань 10 «Природничі науки» Спеціальність 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» | Вибіркова | |
| Змістових модулів – 2 | | | |
| Кількість кредитів – 3 | Освітня програма 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» | Рік підготовки: | |
| Індивідуальне науково-дослідне завдання: – | | 2-й | |
| Загальна кількість годин - 90 | | Семестр | |
| | | 2-й | |
| Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 4 | Освітній рівень: третій (освітньо-науковий) PhD | Лекції | |
| | | 14 год. | |
| | | Практичні, семінарські | |
| | | 16 год. | _ год |
| | | Лабораторні | |
| | | _ год. | _ год. |
| | | Самостійна робота | |
| | | 60 год. | |
| Індивідуальні завдання: _ год. | | | |
| Вид контролю: Залік | | | |

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Зміст та матеріал навчальної дисципліни стосується деталізації можливості інструментів нанотехнологій та використання цього інструментарію для виготовлення та характеристик наномасштабних матеріалів. Аспіранти ознайомлюються нас із практичними методиками формування та дослідження наноматеріалів, теоретичними підходами пояснення їх властивостей, навичками та інструментами, які дозволяють перетворити новітні ідеї зі сфери нанотехнологій у фізичну форму та які дозволять візуалізувати і проаналізувати характеристики наномасштабних об'єктів.

Мета курсу: Мета курсу: Оволодіння сучасними методиками інженерії нанооб'єктів, опису властивостей та технологіями їх отримання та аналізу, а також формування в аспірантів вмінь та навиків практичної роботи для

розв'язання проблемних завдань.

Завдання курсу:

- ✓ Класифікація нанооб'єктів та наноструктур, акцентування на їх практичному застосуванні, окреслення передових напрямків дослідження наноматеріалів;
- ✓ Ознайомлення із методиками отримання нанорозмірних структур: методи епітаксії та літографії, акцентування на PVD, CVD технологіях;
- ✓ Ознайомлення із сучасними методами експериментального дослідження характеристик нанооб'єктів: АСТ, СЕМ, ТЕМ, Х-променеві дифракційні методи дослідження, оптичні спектральні методики;
- ✓ оволодіння базовими методами квантово-механічних підходів для опису властивостей наноструктур;
- ✓ отримання практичних навиків роботи із сучасними програмними пакетами, що дозволяють виконувати статистичну обробку експериментальних даних SEM, ASM, EDX, EDS аналізів;
- ✓ короткий екскурс в історію виникнення і розвитку наноструктур

Компетентності:

Інтегральна компетентність. Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та / або дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних і створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

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

ЗК. 7. Здатність безперервно саморозвиватися і самовдосконалюватися, застосовувати технології професійної самоорганізації та самоменеджменту як складових професійного розвитку.

ЗК.10 Здатність формувати дослідницьке поле власного наукового дослідження відповідно до сучасної парадигми наукового знання.

ЗК.11. Здатність використовувати сучасні методи і технології наукової комунікації українською та іноземними мовами.

ЗК.13. Ініціювання інноваційних комплексних проектів, лідерство та повна автономність під час їхньої реалізації. Соціальна відповідальність за результати прийняття стратегічних рішень.

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

ФК. 4. Здатність здійснювати теоретичні та експериментальні наукові дослідження, застосувати їх методи, трактувати отримані результати, виявляти властивості та характеристики об'єктів дослідження у галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК. 7 Володіти сучасними експериментальними методами дослідження матеріалів, в тому числі наноструктурованих, методами опрацювання результатів експерименту за допомогою уніфікованих та специфічних програмних середовищ, сучасними способами представлення результатів дослідження.

Результати навчання:

ПРН. 3. Знання поглибленого рівня у сфері фізики, технології речовин і матеріалів, сучасних методів дослідження їх властивостей.

ПРН. 5. Знання основи сучасних засад функціонування науки, основ методології та організації наукових досліджень різних рівнів, формувати методологічну базу власного наукового дослідження.

ПРН. 11. Оцінювати кращі європейські практики, сучасні цифрові ресурси та інструменти на предмет їх застосування для освітньо-наукових цілей.

ПРН. 12 Проводити математичне, аналітичне та комп'ютерне моделювання здійснювати статистичні обчислення або чисельні розрахунки, порівнювати їх результати із експериментами даними для більш повного опису досліджуваних систем.

ПРН.13 Вміти кваліфіковано відображати результати наукових, результатів у провідних вітчизняних і міжнародних наук виданих, виступити у підготовчих презентаціями, доповідачами наукових конференцій і симпозіумів. Вести дискусії з науковцями, представниками громадськості з наукових проблем відстоювати особистісну позицію.

ПРН. 14. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми правової сфери державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

ПРН. 16. Робити огляд та пошук інформації в спеціалізованій літературі, використовуючи різноманітні ресурси: журнали, бази даних, онлайн-ресурси.

3. Програма навчальної дисципліни

Тема 1. Вступ до нанотехнологій.

1. Класифікація наноматеріалів.
2. Застосування наноструктур.
3. Роль поверхні та особливості наноструктурних об'єктів.

Тема 2. Базові вимоги до нанотехнологій.

1. «Чисті» кімнати.
2. Базові принципи електронно-променевих та вакуумних методів формування нанооб'єктів.

Тема 3. Дослідження структури.

1. EDS метод.
2. Трансмійна електронна мікроскопія.
3. Кріо- трансмісійна електронна мікроскопія.
4. Принципи комп'ютерної томографії.

Тема 4. X-променеві методи дослідження.

1. X-променевий спектральний аналіз.

2. Оптичні спектральні вимірювання.
3. Особливості застосування X-променевих та оптичних спектральних методів до астрономічних досліджень.

Тема 5. Аналіз вакуумних систем

1. Механічні, криогенні та турбомолекулярні помпи.
2. Електронно-променеве випаровування речовини.

Тема 6. Методи фізичного та хімічного осадження речовини.

1. Фотолітографія.
2. Електронно-променева літографія.
3. Самоорганізація наноструктур.

Тема 7. Наноструктури.

1. Гетероструктури.
2. Квантові точки, квантові нитки та квантові ями: теорія та експериментальне дослідження.
3. Енергетичні спектри наночастинок (0D, 1D, 2D – об'єкти).
4. Особливості застосування наноматеріалів для енергетики.

4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-----------|-----|-----|-----------|--------------|--------------|---|-----|-----|------|
| | денна форма | | | | | | заочна форма | | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | | усьог о | у тому числі | | | | |
| | | л | п | лаб | інд | с.р. | | л | п | лаб | інд | с.р. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | | | |
| Тема 1. Вступ до нанотехнологій | 9 | 2 | 2 | | | 5 | | | | | | |
| Тема 2. Базові вимоги до нанотехнологій | 9 | 2 | 2 | | | 5 | | | | | | |
| Тема 3. Дослідження структури | 14 | 2 | 2 | | | 10 | | | | | | |
| Тема 4. X-променеві методи дослідження | 9 | 2 | 2 | | | 5 | | | | | | |
| Тема 5. Аналіз вакуумних систем | 9 | 2 | 2 | | | 5 | | | | | | |
| Тема 6. Методи фізичного та хімічного осадження речовини | 16 | 2 | 4 | | | 10 | | | | | | |
| Тема 7. Наноструктури | 14 | 2 | 2 | | | 10 | | | | | | |
| Усього годин | 90 | 14 | 16 | | | 60 | | | | | | |

5. Теми практичних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|--------------|---|-----------------|
| 1 | PVD-методи осадження: Методи осадження плівок з парової фази. | 2 |
| 2 | Введення домішок в об'ємні кристалічні матеріали | 2 |
| 3 | SEM, TEM, EDS – дослідження напівпровідникових структур | 4 |
| 4 | Спектральні методи дослідження у ФТТ та в астрофізиці | 4 |
| 5 | X-променеві методи дослідження структури. | 2 |
| 6 | Класифікація і застосування наноматеріалів | 2 |
| Разом | | 16 |

6. Теми лабораторних занять

Відповідно до робочої програми з дисципліни «Методи дослідження поверхні» лабораторні заняття не заплановані.

7. Самостійна робота

Самостійна робота аспірантів – невід'ємна складова частина навчально-наукового процесу, яка відіграє важливу роль у процесі формування майбутнього спеціаліста.

Мета самостійної роботи – набуття навичок щодо вирішення конкретних практичних завдань і використання отриманих знань у подальшій практичній діяльності.

Самостійна робота при вивченні курсу складається з різних її видів:

- підготовка до аудиторних занять (лекцій, практичних занять);
- завершення розпочатих на практичних заняттях завдань, передбачених робочою програмою курсу;
- самостійне опрацювання окремих тем навчальної дисципліни згідно з навчально-тематичним планом.

Підготовка до лекційного заняття передбачає обов'язкове вивчення матеріалу попередньої лекції і ознайомлення з матеріалами наступної лекції (підручники, посібники).

Підготовка до практичних занять передбачає обов'язкове вивчення отриманого теоретичного матеріалу з метою подальшого застосування знань на практичних заняттях, у наступній практичній діяльності. При підготовці до заняття відповідної теми необхідно детально вивчити конспект лекції, підручник (навчальний посібник) та коротко законспектувати засвоєний матеріал. Практичні заняття передбачають вивчення теоретичного матеріалу та виконання завдань. Аспірант самостійно завершує у позааудиторних умовах розпочаті в аудиторіях завдання і здає у час, який встановлює викладач.

Виконувати завдання необхідно в такій послідовності:

- ознайомитись із завданням і вивчити його умову;
- визначити методи (прийоми) розв'язання кожної конкретної ситуації;
- безпосередньо почати розв'язувати завдання;

- обґрунтувати висновки і пропозиції згідно з отриманими результатами;
- виконане завдання належно оформити;
- захистити завдання (якщо це встановлено робочою програмою дисципліни) відповідно до встановленого графіка самостійної роботи.

Якщо передбачений програмою обсяг завдань аспірант не виконав і не захистив, то до іспиту його не допускають.

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|--------------|---|-----------------|
| 1 | Класифікація нанооб'єктів. | 5 |
| 2 | Вуглецеві наноматеріали. | 5 |
| 3 | Наноматеріали для енергетики: класифікація та особливості застосування | 5 |
| 4 | АСМ: контактний і безконтактний режими. Обробка зображень. Автокореляційна функція для розподілу поверхневих нанооб'єктів | 10 |
| 5 | СЕМ та ТЕМ дослідження: підходи та методики. | 10 |
| 6 | Методи дослідження структури твердого тіла | 10 |
| 7 | Спектральні методи | 10 |
| 8 | Оптимізація характеристик наноматеріалів та симуляція приладових структур | 5 |
| Разом | | 60 |

8. Індивідуальні завдання

Відповідно до робочої програми з дисципліни «Методи дослідження поверхні» індивідуальні завдання не заплановані.

9. Методи навчання

Словесні (навчальна лекція, пояснення, розповідь, бесіда, навчальна дискусія, диспут). Наочні (спостереження, демонстрування). Практичні (експериментальні навички). Проблемно-пошукові (розв'язання проблемних ситуацій і завдань, проблемне викладення). Методи за логікою руху змісту навчального матеріалу (індуктивні, дедуктивні).

За характером пізнавальної діяльності, при вивченні дисципліни «Методи дослідження поверхні» використовуються: пояснювально-наочний проблемний виклад; частково-пошуковий та дослідницький методи.

10. Методи контролю

Методами контролю з дисципліни «Методи дослідження поверхні» є поточний та підсумковий контроль.

Поточний контроль здійснюється під час проведення практичних занять і має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання конкретної роботи. Формами проведення поточного контролю з дисципліни є:

- усні опитування на практичних заняттях;
- захисти підготовлених завдань (на лекційних та практичних заняттях);
- тестування тощо.

Підсумковий контроль проводиться з метою оцінки результатів навчання на третьому (освітньо-науковому) рівні PhD. Підсумковий контроль з дисципліни «Методи дослідження поверхні» включає семестровий контроль у формі заліку.

Критерії оцінювання рівня знань на практичних заняттях, при виконанні самостійних та індивідуальних завдань:

5 балів – коли аспірант дає обґрунтовані, теоретично і практично правильні відповіді на запитання, рішення завдань правильні, демонструє знання навчально-методичної літератури, наводить узагальнення і висновки, був присутній на лекціях і практичних заняттях;

4 бали – коли аспірант знає викладений матеріал на «відмінно», але ним допущені незначні помилки у формулюванні термінів, категорій, розрахунків, коли за допомогою викладача швидко орієнтується і знаходить правильні відповіді. Присутність на лекціях і практичних заняттях обов'язкова;

3 бали – коли аспірант дає неправильну відповідь на одне запитання або на всі запитання дає малообґрунтовані, невичерпні відповіді, припускається грубих помилок у розрахунках і тільки за допомогою викладача може виправити допущені помилки;

2 бали – коли аспірант дає неправильні відповіді на 2-3 запитання, припускається грубих помилок у розрахунках і не може їх виправити, погано орієнтується в лекційному матеріалі;

1 бал – аспірант отримує за умови, якщо не зміг викласти зміст питання, погано орієнтується в матеріалі; відсутні логічна послідовність висловлювань та зміст відповіді; виконане завдання містить багато помилок, що заважають розумінню загального змісту;

0 балів – відповідь відсутня.

11. Оцінювання

| Під час навчання студенти можуть отримати такі бали: Назва контролю | Мак кількість балів | Примітки |
|--|---------------------|--|
| Практичні заняття | 60 | 4 практичні тематичні роботи (робота в групах в аудиторії) |
| Залік | 40 | Мін оцінка допуску – 25 Мак оцінка допуску – 60 |
| Разом: | 100 | Відмінно! |

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 | не зараховано з |

| | | | |
|------|---|--|---|
| | | можливістю повторного складання | можливістю повторного складання |
| 0-25 | F | незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни | не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни |

12. Перелік питань, які виносяться на залік

1. Квантові стінки, нитки, точки: визначення, формування і застосування
2. Розмірні ефекти, квантово-розмірні ефекти
3. Фізичні основи квантово-розмірних структур. Густина станів у низькорозмірних системах.
4. Алмази і алмазоподібні матеріали: класифікація і властивості
5. Фулерени і матеріали на їх основі: класифікація і методи їх отримання
6. Дослідження топографії поверхні твердих тіл методом атомно-силовий мікроскопії в контактному режимі
7. Технологія одержання наноматеріалів: епітаксія та літографія
8. Методи одержання ультрадисперсних алмазів
9. Явище розмірного квантування енергії у наноструктурах
10. Алотропні форми карбону та їх фізичні властивості
11. Як хвильові властивості світла і електрона проявляються в експериментальних спостереженнях?
12. Чи можна спостерігати хвильові властивості у частинок, більших за електрон, наприклад для протона або нейтрона?
13. У чому полягає гіпотеза де Бройля?
14. Яким чином формуються енергетичні зони в матеріалі?
15. У чому відмінність дозволених і заборонених зон?
16. Які фундаментальні відмінності в заповненні енергетичних зон у металів, діелектриків та напівпровідників?
17. Яким чином формуються квантові ями і потенціальні бар'єри в багат шарових напівпровідникових структурах?
18. Суть явища тунелювання.
19. Причини дискретизації рівнів енергії в квантовій ямі.
20. Контактний і безконтактний режими АСМ.
21. Принципи ТЕМ.
22. Принципи СЕМ
23. Основи ЕДС-аналізу.

12. Рекомендована література

1. Юхновський І. Р. Основи квантової механіки навч. Посібник, 2-ге вид., перероб. і доп. К.:Либідь,2002 .-392 с.
2. Д.М.Заячук. Нанотехнології і наноструктури. Львів:"Львівська політехніка",2009 .-580 с.
3. Киттель Ч., Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
4. Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М. Квантовая механика: Нерелятивистская теория. М.: Наука, 1974.
5. Є.С. Крячко, Є.Ю. Ремета, Теорія функціонала густини в атомній фізиці, УФЖ, Огляди.

2014. Т. 9, № 1.

6. Васильев А. Н., Михайлин В. В. Введение в спектроскопию твердого тела. М.:МГУ,1987 .- 192 с.
7. Шпак А. П.,Куницький Ю. А.,Коротченков О. О., Смик С. Ю. Квантові низькорозмірні системи К.:Академперіодика,2003 .-310 с.
8. В.П.Кладько. Рентгенооптичні ефекти в багатошарових періодичних квантових структурах: монографія. К.:Наукова Думка,2006 .-287 с.
9. Ткач М. Квазічастинки у наногетеросистемах. Квантові точки та дроти. Чернівці:ЧНУ,2003 .-312 с.
10. Павлишин Володимир Іванович, Довгий С.О. Мінералогія:Вступ до мінералогії. Кристалохімія, морфологія і анатомія мінералів. Мікромінералогія і наномінералогія: підручник. К.:КНТ,2008 .-536 с.
11. З. М. Праттон, Введение в физику поверхности. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. 256 С.
12. P. Hofmann, Surface Physics. An Introduction, 2013, 293 P.
13. Э.Зенгуил “Физика поверхности”. М., Мир, 1990, 536 стр.
14. Наноструктурные материалы: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
15. Основы нанотехнологий и наноматериалов : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.А. Азаренков, А.А. Веревкин, Г.П. Ковтун. – Харьков, 2009.
16. Введение в нанотехнологии: текст лекций / А.И. Грабченко, Л.И. Пупань, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – 288 с.
17. Фреїк Д.М., Чобанюк В.М., Никируй Л.І. Фізика твердого тіла. Кристалічна структура. Фізичний практикум Навчальний посібник. – Івано-Франківськ. В-во Прикарпатського національного університету. – 2009. – 120 с.
18. Наноматериалы и нанотехнологии / В.М. Анищик и др.; под ред. В.Е.Борисенко, Н.К. Толочко. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2008. – 375 с.
19. Vacuum Technology Know How Pfeiffer Vacuum GmbH, March 2009.