



Наноматеріали та методи їх дослідження

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

- Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	15 Автоматизація та приладобудування ¹
Спеціальність	153 Мікро- та наносистемна техніка
Освітня програма	ОНП Мікро- та наносистемна техніка
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредитів (120 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор/ Практичні: д.т.н. професор Вербицький В.Г.
Розміщення курсу	Google Classroom

- Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Робоча програма кредитного модуля «Наноматеріали та методи їх дослідження» для аспірантів освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо- кваліфікаційного рівня «освітньо – науковий» за денною формою навчання складена відповідно до програми навчальної дисципліни «Наноматеріали та методи їх дослідження».

Метою вивчення навчальної дисципліни «Наноматеріали та методи їх дослідження» є надання аспірантам комплексу базових знань, в рамках існуючих природничих наукових положень і сучасного розвитку наноелектроніки, про фізичні властивості та методи отримання наноматеріалів, технології їх виготовлення та методи дослідження наномасштабних структур, а також розгляд різних аспектів практичного застосування наноматеріалів.

Дисципліна формує **загальні компетентності** щодо здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1), до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК2), застосовувати сучасні інформаційні технології (ЗК4) а також **фахові компетентності**:

- Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у мікро- та наносистемній техніці та дотичних міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з електроніки та суміжних галузей (ФК1).

¹ В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:

Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану.
Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

- Здатність використовувати технічне обладнання і устаткування, системи прийняття рішень, програмні засоби та інструменти для проведення наукового експерименту та обробки результатів експериментальних досліджень (ФК4).
- Здатність організувати, забезпечувати і контролювати підтримання наукової та професійної кваліфікації колективу на світовому рівні наукових та інженерних досягнень в сфері розробки та експлуатації приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки (ФК7).
- Здатність застосовувати методи аналізу, математичне моделювання, виконувати фізичні та математичні експерименти при проведенні наукових досліджень в області мікро- та наносистемної техніки (ФК8).
- Здатність досліджувати перспективні напрямки розвитку галузі, творчо використовувати нові методи і технології створення приладів і пристроїв мікро- і нанoeлектроніки, сучасних мікроелектронних інформаційних систем (ФК10).

В результаті успішного засвоєння дисципліни здобувачі вищої освіти досягають таких **програмних результатів навчання:**

- Мати передові концептуальні та методологічні знання з мікро- та наносистемної техніки і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань, їх використання у власних дослідженнях та викладацькій практиці (ПРН1).
- Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень, математичного та комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані (ПРН3).
- Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження у сфері мікро- та наносистемної техніки, дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних теорій, методів, спеціалізованого обладнання та оснащення, інформаційнокомунікаційних технологій, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми (ПРН5).
- Планувати, організувати та координувати роботу щодо проектування, розроблення, аналізу, розрахунку, моделювання, виробництва та тестування мікро- та наносистемної техніки (ПРН6).
- Розробляти нові методи і технології, програмні і апаратні засоби мікро- і наносистемної техніки, мікроелектронних інформаційних систем (ПРН9).
- **Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Міждисциплінарний зв'язок: курс забезпечується навчальними дисциплінами з попередніх рівнів вищої освіти по спеціальності такими як «Матеріали і компоненти електроніки», «Твердотільна електроніка», «Фізика твердого тіла», «Технологічні основи електроніки», «Нанoeлектроніка».

Знання, отримані при вивченні дисципліни «Наноматеріали та методи їх дослідження» можуть бути використані при проведенні наукових досліджень та при написанні дисертації доктора філософії.

- **Зміст навчальної дисципліни**

Розділ 1. Загальна характеристика наноматеріалів

Розділ 2. Структура наноматеріалів

Розділ 3. Властивості наноматеріалів

Розділ 4. Методи отримання наноматеріалів

Розділ 5. Методи дослідження наноматеріалів

Розділ 6. Застосування наноматеріалів

2. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. *Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник / Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснєв В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовицький В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.*
2. *Поплавко Ю.М., Борисов О. В., Якименко Ю. І. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.*
3. *Основи наноелектроніки: у 2 кн. Кн.2 «Матеріали і наноелектронні технології: Підручник / Ю.І. Якименко, Д.М. Заячук, В. М.Співак, А.Т. Орлов, О. В. Богдан, В.М. Коваль. – сайт <http://www.fel.ntukpi.kiev.ua>. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. - 400 с.*
4. *Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.*
5. *Азаренков Н.А., Веревкин А.А., Ковтун Г.П. Основы нанотехнологий и наноматериалов : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – Харьков, 2009.*
6. *Булыгина Е.В., Макаруч В.В., Панфилов Ю.В., Оя Д.Р., Шахгов В.А. Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование: уч. пос. для Вузов. – М.: Сайнс-Пресс, 2006. – 80 с.*
7. *Витязь П.А., Свидинович Н.А., Куис Д.В. Наноматериаловедение: учебн. пособие. – Минск: Вышшая школа, 2015. – 511 с.*
8. *Машков, Ю. К., Малий О. В. Материалы и методы нанотехнологии: конспект лекций. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 136 с.*
9. *Смирнов В.И. Физические основы нанотехнологий и наноматериалы: учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. – 240 с.*
10. *13. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – Москва: Физматлит, 2009. – 414 с.*

Допоміжна література:

1. *Ткач О. П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні: Навчальний посібник. - Суми: Сумський державний університет, 2014. - 127 с.*
2. *Яблонь Л.С., Бойчук В.М. Фізичні основи нанотехнологій. Курс лекцій. – Івано-Франківськ, 2015. – 103 с.*
3. *2. Валиев, Р. З., Александров И. В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией.– М.: Логос, 2000. – 272 с.*
4. *3. Шик А .Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем. - Санкт-Петербург: Наука, 2001. - 155 с.*
5. *4. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Смик С.Ю. Діагностика наносистем. - Київ: Академперіодика, 2003. - 149 с.*
6. *5. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Коротченков О.О., Смик С.Ю. Квантові низькорозмірні системи. - Київ: Академперіодика, 2003. - 308 с.*
7. *6. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанозлектроники. - Новосибирск: НУ, 2000. - 331 с.*
8. *Сайт кафедри мікроелектроніки. Розділ електронна бібліотека: <http://me.kpi.ua/index.php?id=61>*

- Навчальний контент

3. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття:

Лекція 1.

Загальні поняття про наноматеріали. Розмірність: нанонаука, наноб'єкти, нанотехнологія та нанотехніка. Нанорозмірний фактор в матеріалознавстві. Специфіка наноматеріалів та нанотехнологій.

Лекція 2.

Основні поняття і визначення нанотехнології та наноматеріалів. Наноефекти і наноб'єкти в природі. Види штучних наноструктур. Особливості нанорозмірного стану речовини. Розмірні ефекти. Властивості наноматеріалів. Класифікація та характеристики основних видів наноматеріалів.

Лекція 3.

Загальна характеристика наноструктур. Структурні особливості наноматеріалів. Структура консолідованих наноматеріалів. Дефекти, поверхні розділу, пограничні сегрегації. Структура полімерних і біологічних наноматеріалів. Структура вуглецевих наноматеріалів.

Лекція 4.

Нанополімерні, супрамолекулярні, нанобіологічні і нанопористі структури. Вуглецеві наноматеріали. Зародження та еволюція наноструктур.

Лекція 5.

Розмірні ефекти. Конденсовані середовища. Типи зв'язків в твердих тілах. Атомний порядок та його вплив на властивості наноструктур. Теплові коливання атомів. Фізичні властивості. Електричні і оптичні властивості наноматеріалів. Властивості провідності.

Лекція 6.

Магнітні характеристики. Стабільність. Зростання зерен. Дифузія. Хімічні властивості. Електронна будова. Фазові рівноваги і термодинаміка. Механічні властивості. Реакційна здатність. Каталіз. Пористі матеріали і матеріали зі спеціальними фізико-хімічними властивостями.

Лекція 7.

Процеси нанотехнології. Загальна характеристика методів отримання. Технологія консолідованих матеріалів. Порошкові технології. Конденсаційний метод. Високоенергетичне подрібнення. Механохімічний синтез. Плазмохімічний синтез. Особливості компактування нанопорошків. Тверді сплави інструментального призначення. Матеріали для електричних контактів.

Лекція 8.

Наноструктурна кераміка і кермети. Нанопористі матеріали. Наноструктурні покриття і плівки. Композиційні дисперсно-зміцнені наноматеріали. Об'ємні наноматеріали, отримані методами інтенсивної пластичної деформації. Основні методи інтенсивної пластичної деформації. Особливості механічних властивостей наноматеріалів, отриманих інтенсивною пластичною деформацією. Области застосування наноматеріалів, отриманих методами інтенсивної пластичної деформації.

Лекція 9.

Отримання аморфних матеріалів. Контрольована кристалізація з аморфного стану. Технології осадження наноструктурованих шарів на підкладку. Основні методи формування наноструктурних покриттів на робочих поверхнях. Методи фізичного осадження з парової фази. Методи хімічного осадження з парової фази. Термічні методи. Іонне бомбардування Багатошарові наноструктурні покриття.

Лекція 10.

Масштаби в системах наночастинок. Особливості діагностики нанооб'єктів. Скануюча зондова мікроскопія. Багатофункціональність методів скануючої зондової мікроскопії. Скануюча тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія.

Лекція 11.

Автоіонна мікроскопія. Методи електронної мікроскопії. Можливості електронної мікроскопії. Спектроскопічні методи. Скануюча оптична мікроскопія ближнього поля. Магнітно-силова мікроскопія. Електронна Оже-спектроскопія. ІЧ і КР-спектроскопія. Фотоемісійна спектроскопія. Магнітний резонанс. Дифракційні методи дослідження наноматеріалів.

Лекція 12.

Основні галузі використання наноматеріалів. Конструкційні та функціональні наноструктурні матеріали. Наноконполімери. Наноструктурні надпровідники. Нанорозмірні гетероструктури.

Лекція 13.

Основні галузі використання наноматеріалів. Наноплівки та двовимірні нанокристали. Наноструктурна кераміка. Нанопористі матеріали. Магнітні наноматеріали. «Інтелектуальні» матеріали. Мікроелектроніка. Фотоніка. MEMS і NEMS – технології. Біотехнологія та медицина.

Практичні заняття:

Рекомендована тематика практичних (семінарських) занять

1. Особливості нанорозмірного стану речовини. Розмірні ефекти. Нанорозмірний фактор у матеріалознавстві.
2. Нанополімерні, супрамолекулярні, нанобіологічні і нанопористі структури.
3. Фізичні властивості. Електричні і оптичні властивості наноматеріалів.
4. Скануюча зондова мікроскопія наноматеріалів. ІЧ і КР-спектроскопія наноматеріалів.
5. Процеси нанотехнології: Конденсаційний метод. Високоенергетичне подрібнення. Механохімічний синтез.
6. Основні методи формування наноструктурних покриттів на робочих поверхнях. Методи фізичного осадження з парової фази. Методи хімічного осадження з парової фази.
7. Фулерени, їх структура і типи. Властивості фулерену.
8. Вуглецеві нанотрубки Структура і види вуглецевих нанотрубок. Властивості нанотрубок і перспективи їх застосування.
9. Основні галузі використання наноматеріалів і нанотехнологій.

Самостійна робота студента/аспіранта

Для стимуляції навчальної роботи аспірантів, заохочення їх до самовдосконалення та знайомства з новітніми наноматеріалами, технологіями та методами дослідження наноматеріалів та наноструктур рекомендовано наступні теми для самостійного опрацювання:

1. Наноефекти і наноб'єкти в природі. «Інтуїтивні» нанотехнології Види штучних наноструктур.
2. Міждисциплінарний характер нанотехнологій. Галузі науки, пов'язані з нанотехнологіями. Перспективи та пріоритетні напрямки розвитку нанотехнології.
3. Структура полімерних і біологічних наноматеріалів. Структура вуглецевих наноматеріалів.
4. Атомний порядок та його вплив на властивості наноструктур. Електронна будова. Фазові рівноваги і термодинаміка.
5. Пористі матеріали і матеріали зі спеціальними фізико-хімічними властивостями.
6. Атомні кластери як елементарні об'єкти самозборки.
7. Нанолітографія. Нанодрук
8. Технологічні методи одержання квантових ниток та квантових точок.

- Політика та контроль

- 5. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В рамках дисципліни заплановано наступні види навчальних занять:

- лекції;
- практичні заняття;
- самостійна робота.

Теми дисципліни взаємозв'язані, матеріал вивчається в логічній послідовності. На заняттях розкриваються найбільш суттєві теоретичні питання, які дозволяють забезпечити здобувачам можливість глибокого самостійного вивчення всього програмного матеріалу. Теми та порядок виконання практичних занять сформовано в логічній послідовності і повністю узгоджуються з лекційним матеріалом. Теоретичні та практичні знання поглиблюються шляхом самостійної роботи з використанням рекомендованої літератури та інформаційних ресурсів мережі Internet.

На заняттях використовуються персональний комп'ютер, загальнонавчальні комп'ютерні програми і операційні системи, проектор, інтерактивна дошка, інтернет-ресурси.

Контроль засвоєння навчального матеріалу здійснюється індивідуальним опитуванням (тестуванням), модульною контрольною роботою та заліком. Заплановане індивідуальне завдання (реферат).

- 6. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

З метою контролю процесу засвоєння навчального матеріалу до курсу введено модульну контрольну роботу. Контрольна робота включає матеріал всіх лекцій. Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог програми.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання:

1. Рейтингові бали нараховуються згідно система рейтингових (вагових) балів.
2. Відвідування лекцій та практичних занять реєструє викладач по відповідним журналам.
3. Бали за конспектування лекцій нараховуються по числу законспектованих лекцій.
5. Тестування(експрес-опитування), за темами дисципліни здійснюється на основі тестів і залежить від тривалості контрольного заходу (5-10 хвилин).
6. Модульна контрольна робота проводиться протягом однієї пари.
7. Аспіранти,, які набрали протягом семестру необхідну для позитивної оцінки кількість балів мають можливості:
 - не писати залікову письмову роботу, а отримати оцінку „ автоматом ” відповідно до набраного рейтингу з дисципліни;
 - складати залік з метою підвищення оцінки.
8. Аспіранти, семестровий рейтинг яких відповідає оцінці „ незадовільно ” зобов'язані скласти залік.

- Система рейтингових (вагових) балів:

№ п/п	Заняття, що підлягають рейтинговій оцінці	Загальна кількість	Макс. бал	Число балів на відмінно
1.	Лекції:			
	конспектування	13	2	26
	експрес-опитування	13	2	26
2.	Модульна контрольна робота	1	20	24
3.	Індивідуальне завдання	1	30	24
	Рейтинг за курс, R	100		

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

7. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік рекомендованих тем по індивідуальному завданню (реферату):

1. Методи визначення розмірів малих частинок.
2. Методи синтезу наночастинок.
3. Методи нанесення наноплівки.
4. Фізико-хімічні особливості поведінки речовин в нанорозмірному стані.
5. Електрооптичні процеси в надґратки.
6. Самоорганізація і самозбірка наноструктур.
7. Фізичні основи скануючої зондової мікроскопії.
8. Скануючий тунельний мікроскоп.
9. Атомний силовий мікроскоп.

10. *Методи дослідження нанооб'єктів і наноструктур.*
11. *Атомна інженерія. Локальне окислення металів і напівпровідників.*
12. *Атомна інженерія. Локальне хімічне осадження з газової фази.*
13. *Екстремальна УФ літографія.*
14. *Електронно- та іонно-променева літографія.*
15. *Нанодрук (наноимпрінт).*
16. *Нанокристаліти в неорганічних і органічних матеріалах.*
17. *Золь-гель технологія.*
18. *Осадження плівок Ленгмюра-Блоджетт та приклади їх використання.*
19. *Критерії визначення наноматеріалів: розмір, розмірність і функціональні властивості.*
20. *Фрактальні наноструктури.*
21. *Аерогелі.*
22. *Пористий кремній: отримання, властивості, використання.*
23. *Пористий оксид алюмінію, отримання і наноструктури на його основі.*
24. *Графен: отримання, властивості, використання.*
25. *Фулерени: отримання, структура, використання.*
26. *Вуглецеві нанотрубки: хіральність, провідні і надпровідні властивості нанотрубок.*
27. *Фотонні кристали.*
28. *Перспективи нанотехнологій в системах запису і зберігання інформації.*
29. *Феромагнетизм в наноструктурах.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри мікроелектроніки, д.т.н. професор Вербицький В.Г.

Ухвалено кафедрою мікроелектроніки (протокол № 21 від 10.06.2020)

Погоджено Методичною комісією факультету² (протокол № 06/2020 від 22.06.2020)

² Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.