



Технологічні процеси мікро-та наносистемної техніки

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	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, весінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кредитів (150 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
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 «Технологічні процеси мікро-та наносистемної техніки» для аспірантів освітньої програми «Технологічні процеси мікро- та наносистемної техніки» освітньо-кваліфікаційного рівня «освітньо – науковий» за денною формою навчання складена відповідно до програми навчальної дисципліни «Технологічні процеси мікро-та наносистемної техніки».

Метою вивчення навчальної дисципліни «Технологічні процеси мікро-та наносистемної техніки» є ознайомлення аспірантів з основними технологіями отримання наноматеріалів та наноструктур, і основними методами їх дослідження, особливостями застосування, принципами дії технологічного та вимірювального обладнання, роздільною здатністю, перевагами та складностями при їх реалізації, методиками визначення параметрів наноструктур, перспективами розвитку. Надати знання з основ сучасних нанотехнологій, фізики взаємодії частинок та променів з речовиною, приладної реалізації технологічних та 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 та створення наноструктур.

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».

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

- Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання технологічних процесів у мікро- та наносистемній техніці та дотичних міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з електроніки та суміжних галузей (ФК1).
- Здатність використовувати сучасні інструменти та методи дослідження, методи моделювання, аналізу даних та оптимізації, системи прийняття рішень, цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження об'єктів і процесів мікро- та наносистемної техніки (ФК3).
- Здатність організовувати, забезпечувати і контролювати підтримання наукової та професійної кваліфікації колективу на світовому рівні наукових та інженерних досягнень в сфері розробки та експлуатації приладів і пристроїв в технологічних процесах мікро- та наносистемної техніки (ФК6).
- Здатність застосовувати методи аналізу, математичне моделювання, виконувати фізичні та математичні експерименти при проведенні наукових досліджень в області технології мікро- та наносистемної техніки (ФК7).
- Здатність досліджувати перспективні напрямки розвитку галузі, творчо використовувати нові методи і технології створення приладів і пристроїв мікро- і нанoeлектроніки, сучасних мікроелектронних інформаційних систем (ФК9).

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

- Мати передові концептуальні та методологічні знання з технології 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 або професійній діяльності (ПРН1).
- Вміти формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень, фізичного, математичного та комп'ютерного моделювання, наявні дані з літературних джерел (ПРН3).
- Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження у сфері технології мікро- та наносистемної техніки, дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних теорій, методів, спеціалізованого обладнання та оснащення, інформаційно-комунікаційних технологій, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми (ПРН5).
- Розробляти та досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у мікро- і наносистемній техніці та дотичних міждисциплінарних напрямках, у науково-педагогічній діяльності (ПРН6).
- Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проєкти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми мікро- і наносистемної техніки з врахуванням інженерних, соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів (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 «Наноматеріали та нанотехнології», «Матеріали і компоненти електроніки», «Твердотільна електроніка», «Фізика твердого тіла», «Технологічні основи електроніки», «Наноелектроніка».

Знання, отримані при вивченні дисципліни «Технологічні процеси мікро- та наносистемної техніки» можуть бути використані при проведенні наукових досліджень та при написанні дисертації доктора філософії.

Зміст навчальної дисципліни

- Розділ 1. Класифікація наноматеріалів та наноструктур.
- Розділ 2. Молекулярно променева та газофазна епітаксія.
- Розділ 3. Технології виготовлення напівпровідникових наноструктур.
- Розділ 4. Вплив розмірних ефектів на характеристики наноприладів.
- Розділ 5. Методи дослідження наноматеріалів і наноструктур.
- Розділ 6. Застосування наноматеріалів і наноструктур.

Базова література

- 1 Готра З.Ю., Григорчак І.І., Лукіянець Б.А., Большакова І.А., Стахіра П.Й., Політанський Л.Ф. *Наноелектроніка*. Львів: Ліга-Прес, 2009.- 344 с.
- 2 *Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник* / Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М., Воеводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболь О. В., Удовицький В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
- 3 Поплавко Ю.М., Борисов О. В., Якименко Ю. І. *Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб.* – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
- 4 *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.
- 5 Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. *Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах.* – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.
- 6 Ткач О. П. *Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні: Навчальний посібник.* - Суми: Сумський державний університет, 2014. - 127 с.
- 7 Яблонь Л.С., Бойчук В.М. *Фізичні основи нанотехнологій. Курс лекцій.* – Івано-Франківськ, 2015. – 103 с.
- 8 Шпак А.П., Куницький Ю.А., Коротченков О.О., Смик С.Ю. *Квантові низькорозмірні системи.* - Київ: Академперіодика, 2003. - 308 с.

Допоміжна література:

- 1 Kelsall R.W., Hamly I.W., Geogheg M. *Nanoscale Science and Technology*. John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
- 2 Tiwari A., Uzum L. *Advanced in functional materials*.- Wiley, 2015.
- 3 Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology. Marcel Dekker, Inc. 2004. DOI: 10.1081/E-ENN 120009133
- 4 Poole C.P., Owens F.J. *Introduction to Nanotechnology*. John Wiley & Sons, Ltd, 2006, 388P.
- 5 Pradeep T. *Nano. The Essentials. Understanding Nanoscience and Nanotechnology*. Tatu McGraw Hill Publishing Company Limited, 2007, 432 P.
- 6 Wolf E.L. *Nanophysics and Nanotechnology*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006, 293 P.
- 7 Сайт кафедри мікроелектроніки. Розділ електронна бібліотека: <https://me.kpi.ua/navchannya/elektronna-biblioteka/>

2. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття:

Лекція 1.

Мікро- і наноструктури. Чому нано? Мікро- та нано. Класифікація наноструктур.

Ефекти нанометрового масштабу довжин. Зміни повної енергії системи. Зміни структури

системи. Як нанометрові розміри впливають на властивості.

Лекція 2..

Нанотехнології. Процеси «зверху-виз». Подрібнення. Літографія. Механічна обробка. Орієнтаційно-залежне травлення. Si Нанодроти. Наностержні GaN. Фотоелектрохімічне травлення.

Лекція 3.

Нанотехнології. Процеси «знизу вгору». Методи осадження з газової фази. Термоліз. Лазерне випаровування. Плазмове осадження..

Лекція 4

Технології епітаксії. Молекулярно-променева епітаксія. Металорганічна газофазова епітаксія (CVD). Гетероепітаксія. Механізми росту.

Лекція 5

Рідиннофазні методика. Колоїдні методика. Методи золь-гель. Електроосадження Наночастинки одержувані при міцелярній і везикулярній полімеризації. Рідкокристалічні наноклі. Наноструктури, отримувані за шаблоном. Рідкокристалічні мезофази. Міцели і везикули. Ламелярна фаза. Рідкі кристали.

Лекція 6

. Впорядкування наносистем. Самозборка і самоорганізація. Самозборка як метод отримання і структурування наночастинок. Процес само зборки. Напівпровідникові острівці. Моношари.

Лекція 7

Технології виготовлення напівпровідникових наноструктур. Вимоги до ідеальної напівпровідникової наноструктури. Літографія і травлення. Вирощування на краю відколу. Ріст на віцинальних підкладках. Деформаційні квантові точки та дроти.

Лекція 8

Технології виготовлення вуглецевих наноструктур. Одержання графіту. Методи одержання графену. Методи синтезу вуглецевих нанотрубок. Одержання вуглецевих нанотрубок в дуговому розряді. Метод лазерного випаровування. Хімічне висадження з газової фази. Метод плазмохімічного висадження із газової фази. Метод каталітичного піролізу.

. Лекція 9.

Вплив нанотехнологій на електроніку. Розмірні ефекти і наноприлади на базі систем метал-діелектрик-напівпровідник Нанодротові транзистори. Пристрої на основі кулонівської блокади. Одноелектронні прилади. Перспективи розвитку наноелектронних приладів.

Модульна контрольна робота 1

Лекція 10

Загальна класифікація методів дослідження. Аналітичні методи і способи візуалізації. Деякі питання фізики розсіювання променів. Рентгенівські промені і їх взаємодія з речовиною. Електрони і їх взаємодія з речовиною. Іони і їх взаємодія з речовиною. Пружне розсіювання і дифракція.

Лекція 11.

Методи мікроскопії. Загальні питання візуалізації. Збільшення зображення і роздільна здатність. Оптична мікроскопія. Скануюча ближньопольова оптична мікроскопія.

Лекція 12.

Електронна мікроскопія. Загальні аспекти електронної оптики. Отримання електронного променя. Взаємодія електронів зі зразком. Вторинні електрони. Зворотньо розсіяні електрони. Оже-електрони і рентгенівське випромінювання. Скануюча електронна мікроскопія. Візуалізація вторинних електронів. Візуалізація електронів зворотного розсіяння.

Лекція 13.

Просвічуюча електронна мікроскопія Дифракція електронів. Отримання ПЕМ зображення. Скануюча просвічуюча електронна мікроскопія.

Лекція 14

Методи спектроскопії (1) . Фотонна спектроскопія. Оптичні виміри. Фотолюмінесценція. Раманівська і ІЧ спектроскопія. Рентгенівська спектроскопія. Радіочастотна спектроскопія.

Лекція 15

Методи спектроскопії (2). Електронна спектроскопія. Випромінювання рентгенівських променів в СЕМ і ПЕМ. Катодолюмінесценція в СЕМ і ПЕМ Спектроскопія характерних втрат енергії електронів.

Лекція 16

Аналіз поверхні і профіль глибини. Електронна спектроскопія поверхонь. Мас-спектрометрія поверхні. Іонно-пучковий аналіз. Рефлектометрія.

Лекція 17

Скануючі зондові методи. Скануюча тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія. Інші скануючі зондові методи.

Лекція 18

Методи вимірювання фізичних властивостей матеріалів та структур. Механічні властивості. Електричні властивості. Магнітні властивості. Термічні властивості.

Модульна контрольна робота 2

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.

5. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В рамках дисципліни заплановано наступні види навчальних занять:

- лекції;
- практичні заняття;
- 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 екзаменом. Заплановане індивідуальне завдання (реферат).

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

З метою контролю процесу засвоєння учбового 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 можливість:
 - не писати екзаменаційну письмову роботу, а отримати оцінку „ автоматом ” відповідно до набраного рейтингу з дисципліни;
 - складати екзамен з метою підвищення оцінки.
8. Аспіранти, семестровий рейтинг яких відповідає оцінці „ незадовільно ” зобов'язані складати екзамен.

Система рейтингових (вагових) балів:

№ п/п	Заняття, що підлягають рейтинговій оцінці	Загальна кількість	Макс. бал	Число балів на відмінно
1.	Лекції:			
	конспектування	18	1	18
	експрес-опитування	18	1	18
2.	Модульна контрольна робота	1	7	7
3.	Індивідуальне завдання	1	7	7
	Рейтинг за курс, R	100		

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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 (наноімпрінт).*
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 професором кафедри мікроелектроніки, д.т.н. Вербицьким В.Г.

Ухвалено кафедрою мікроелектроніки (протокол № 22 від 23.06 2023р.)

Погоджено Методичною комісією факультету² (протокол № 06/23 від 29.06 2023р.)

² Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.