



ЕЛЕКТРОННО-ЙОННІ МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ НАНОСТРУКТУР

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	17 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність	153 Мікро- та наносистемна техніка
Освітня програма	Мікро- та наноелектроніка
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредитів ЕКТС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік , модульна контрольна робота, ДКР
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор/ Практичні: д.т.н. професор Вербицький В.Г.
Розміщення курсу	iGoogle Classroom

Програма навчальної дисципліни

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

Курс “Електронно-йонні методи формування наноструктур” є фундаментальним для опанування цілого ряду спеціальних дисциплін професійної та практичної підготовки з напрямку Мікро- та наноелектроніка. Під час вивчення дисципліни «Електронно-йонні методи формування наноструктур» студенти набувають ґрунтовне розуміння і практичні навички способів формування наночастинок з наперед заданими властивостями в вакуумних умовах, вивчення електродифузійних властивостей отриманих плівок та їх залежність від умов осадження, набувають вміння аналітичного дослідження різних всіх необхідних структурних, теплових, механічних та

електричних характеристик. В навчальній дисципліні “Електронно-йонні методи формування наноструктур” вивчаються властивості надтонких плівок, в основу яких покладено атомну структуру, електромеханічні та теплові характеристики.

Мета навчальної дисципліни - на основі фізичних моделей і розрахунків молекулярних потоків випаровуваного матеріалу опановуються навички наукового та інженерного підходу до застосування вакуумних технологій для використання конденсованих матеріалів у сучасних та майбутніх пристроях електроніки, наноелектроніки та у приладобудуванні. Вивчення даної дисципліни забезпечить студентам наступні

компетентності:

будувати теоретичні моделі, що описують методи та способи формування молекулярних нейтральних і заряджених потоків, з допомогою сучасного аналітичного обладнання вивчати електрофізичні властивості отриманих тонкопліткових матеріалів, практичне отримання реальних структур сучасними технологічними методами.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання

знання: вакуумних прецизійних технологій формування наночастинок і структур на їх основі, атомної структури та електрофізичних властивостей плівок і можливі дефекти у них; механізмів електричних, теплових і магнітних процесів у плівках та їх взаємозв'язок із атомною структурою в залежності від умов осадження.

уміння: визначати фізичні причини виникнення тих чи інших електричних, магнітних, теплових ефектів у плівках, що застосовуються у сучасних електронних приладах, уміння коректного вибору технологічного процесу для отримання конденсованих матеріалів і ефективного їх застосування в мікро- та наноелектроніці.

досвід: практичної реалізації вакуумних йонно-стимульованих методів отримання наночастинок з заданими властивостями та дослідження електрофізичних параметрів матеріалів електронної техніки.

Дисципліна формує у здобувачів вищої освіти (згідно освітньо-професійної програми «Мікро- та наноелектроніка»):

1. Загальні компетентності:

ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях..

ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності..

ЗК 7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

2. Фахові компетентності:

ФК 1 Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.

ФК 5 Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей.

ФК 8 Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів мікро- та наносистемної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем..

Програмними результатами навчання є (згідно освітньо-професійної програми «Мікро-та наноелектроніка»):

ПРН 1 Застосовувати знання принципів дії пристроїв і систем мікро- та наносистемної техніки при їхньому проектуванні та експлуатації.

ПРН 4 Оцінювати характеристики та параметри матеріалів пристроїв мікро- та наносистемної техніки, знати та розуміти основи твердотільної та оптичної електроніки, наноелектроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, мікропроцесорної техніки.

ПРН 6 Застосовувати навички планування та проведення експерименту для перевірки гіпотез та дослідження явищ мікро- та наноелектроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, складати схеми пристроїв, аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.

ПРН 14 Вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення.

ПРН 16 Застосовувати знання структурних особливостей, природи хімічного зв'язку та електрофізичних властивостей матеріалів електроніки для створення функціональних матеріалів та структур твердотільної, оптичної, мікрохвильової та наноелектроніки. .

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі

навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного вивчення даної дисципліни студенти мають засвоїти наступні дисципліни

(пререквізити дисципліни):

- бакалаврські курси: Фізика конденсованого стану. Хімія матеріалів електроніки. Напівпровідникова електроніка. Статистичні методи обробки даних .

Результати навчання даної дисципліни використовуються для вивчення наступних дисциплін **(постреквізити дисципліни):**

- бакалаврські курси: ПО11 «Напівпровідникова електроніка», ПО14 «Наноелектроніка».

- ПО19 «Переддипломна практика», ПО20 «Дипломне проектування»

3 Зміст навчальної дисципліни

- 1 Основи фізики вакууму. Засоби отримання низького та середнього вакууму.
- 2 Фізико-хімічні методи отримання високого вакууму.
- 3 Методи вимірювання загальних та парціальних тисків.
- 4 Основи теорії випаровування матеріалів . Побудова електронно-променевих випаровувачів та методи отримання електронних пучків.
- 5 Діаграма направленості випаровуваного матеріалу. Закон Кнудсена..
- 6 Методи отримання рівномірних по товщині тонких плівок при електронно-променевому випаровуванні матеріалу
- 7 Йонна стимуляція процесу конденсації та її основні параметри.
- 8 Пристрої, що забезпечують енергетичну активацію при формування наноструктур.
- 9 Властивості тонких плівок та композитів при йонному бомбардуванні в процесі конденсації.
- 10 Катодні системи розпилення матеріалів.
- 11 Методи оптимізації конструкцій катодних систем для отримання рівномірних по товщині конденсованих плівок. Закон Пашена.
- 12 Магнетронні системи отримання наночарів на постійному та змінному струмах.
- 13 Високочастотні вакуумні системи нанесення діелектричних плівок.
- 14 Травлення в високочастотному полі в інертних та хімічно-активних середовищах.
- 15 Високоенергетичні системи формування елементів в наноелектроніці.
- 16 Енергетична стимуляція при газофазному осадженні тонких плівок.
- 17 Електронно-променева літографія.
- 18 Йонно-променева літографія.
- 19 Зондові методи формування функціональних елементів в наноелектроніці.
- 20 Лазерна технологія. Фізичні процеси при взаємодії лазерного випромінювання з речовиною.
- 21 Лазерно-стимульовані процеси травлення.
- 22 Методи контролю при використанні йонно-стимульованих технологій.
- 23 **Навчальні матеріали та ресурси.**

Базова література для опанування дисципліни.

1 З.Ю.Готра Технологія електронної техніки. Том1. Навч. посібник . Вид.»Львівська політехніка» 2010 р. 888 с.

2 З.Ю.Готра Технологія електронної техніки. Том2. Навч. посібник . Вид.»Львівська політехніка» 2010 р. 884с.

ЗМ.М.Прищепа. В.П.Погребняк Мікроелектроніка .Частина 3 Мікротехнологія. Навч. посібник. Вид Харківський авіаційний інститут 2011 р. 273 с.

- 4 В.Прокопів. Фізика і технології тонких плівок Т.1 Технологія тонких плівок. Навч посібник. Видавництво І.Франківськ. 2010р 285с.
- 5 .Скороход В.В. Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах/ Скороход В.В., Уварова І.В.,Рагун А.В. –К.: Академперіодика, 2001.
 5. Поплавко Ю. М. Фізика діелектриків: підручник – К. : НТУУ «КПІ», 2015. –572 с.
6. Фізичне матеріалознавство: навч .посіб. / Ю.М. Поплавко, Л.П. Переверзева, В.І. Ільченко,О.С. Воронов, Ю.І. Якименко. – К.:НТУУ «КПІ», 2011: Частина 1. Перспективні напрями матеріалознавства – 302 с.; Частина 2. Діелектрики – 392 с.; Частина 3. Провідники і магнетики -372 с.; Частина 4. Напівпровідники – 336 с
- 7 Заячук Д.М. Низькорозмірні системи і надгратки. / Заячук Д.М. – Л :Львівська політехніка, 2006 р.
Додаткова література.
- 1 Павлишин В.І Мінералогія. /В.І.Павлишин, С.О.Довгий, - К КНТ, 2008 р.
- 2.Пінкевич І.П.. Теорія твердого тіла: навчальний посібник./І.П.Пінкевич, В.Й.Сугаков.- К :ВПЦ «Київський університет». 2006р.

Навчальний контент

5.Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекція 1 Основи фізики вакууму. Вільний газ, його концентрація і густина.

Лекція 2 Засоби отримання низького вакууму.

Лекція 3Методи вимірювання загальних і парціальних тисків в нейтральних і агресивних середовищах.

Лекція 4 Електронно- променеві випаровувачі. Конструкція Основні вимоги до вакуумного оснащення.

Лекція 5.Методи управління електронним променем та формування діаграми направлення випаровуваного матеріалу. Закон Кнудсена.

Лекція 6. Методи та можливості отримання рівномірних наночарів при електронно-променевому випаровуванні компонент.

Лекція 7 Методи отримання іонізованих потоків випаровуваного матеріалу та можливості управління цим потоком.

Лекція 8.Нові матеріали отримані з допомогою йонного бомбардування при електронно-променевому випаровуванні.

Лекція 9 Катодні системи, конструкції та їх класифікація.можливості та обмеження використання катодного розпилення матеріалів в наноелектроніці.

Лекція 10 Магнетронні розпилювальні системи. Форми катодів та їх вплив на рівномірність осаджуваних плівок.

Лекція 11.Високочастотні розпилювальні системи, межі застосування .

Лекція 12 Отримання діелектричних плівок в газовій фазі в системах з двома електродами..

Лекція 13 Травлення функціональних шарів в інертному і хімічно-активному середовищі.

Лекція 14 Високоенергетичні процеси формування елементів нанoeлектроніки. Вплив бомбардування на властивості отриманих структур.

Лекція 15. Енергетична активація процесу конденсації в газовій фазі

Лекція 16 Електронно-променева літографія. Особливості та межі застосування.

Лекція 17. Йонно-променева літографія.

Лекція 18. Групові методи формування елементів нанoeлектроніки. Зондові методики..

Лекція 19. Зондові методи вирощування полікристалічних і діелектричних шарів.

Лекція 20 Йонно-променева літографія.

Лекція 21. Лазерні технології, сфери застосування та перспективи.

Лекція 22. Лазерно-стимульовані процеси травлення.

Лекція 23. Атомно-силова мікроскопія.

Лекція 24. Вторинно йонна мас-спектрометрія.

Лекція 25. Рентгенівський мікроаналіз.

Лекція 26. Оже-електронна спектроскопія.

Лекція 27. Інфрачервона мікроскопія

6. Самостійна робота студентів.

1. Прості моделі твердого тіла. Теорія Друде .
2. Кристалічні і некристалічні тверді тіла. Елементи кристалографії та кристалохімії. Гратка Браве.
3. Час релаксації концентрації носіїв до рівноважного стану. Дифузія і дрейф носіїв заряду в напівпровідниках.
4. Основи вектори, елементарна комірка, трансляційна симетрія. Обернена гратка. Зони Брилюена
5. Генерація та рекомбінація носіїв заряду в напівпровідниках.
6. Дефекти в кристалах. Типи дефектів. Домішки заміщення та проникнення. Атоми у міжвузловинах та вакансії. Дислокації.
7. Явища на поверхні твердих тіл. Поверхневі стани. Гетерогенний каталіз з точки зору фізики поверхні..
8. Плазмові ефекти в твердому тілі. Електронна плазма в твердих тілах.
9. Одноелектронне наближення. Енергетичні зони. Ізоенергетичні поверхні. Ефективна маса електрона.
10. Поверхневі плазмони. Оптичні властивості твердих тіл.
11. Електрони і дірки в напівпровідниках. Локальні енергетичні рівні домішків та дефектів. Донори та акцептори.
12. Надпровідність. Ідея Лондонів.

13 Рівноважна концентрація носіїв зарядів у напівпровіднику. Основні та неосновні носії заряду.

14 Взаємодія електромагнітного випромінювання з твердими тілами.

15 Джерела, перетворювачі, методи доставки та приймачі електромагнітного випромінювання. Лазер.

16. Мікроскопія. Новітні методи мікроскопії.

17 Томографія як сукупність методів досліджень Ультразвукова та комп'ютерна томографія.

18. Електропровідність. Механізми розсіяння електронів та дірок. Внесок різних механізмів розсіяння в провідність носіїв..

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В рамках дисципліни заплановано наступні види навчальних занять:

- лекції;

-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. Теоретичні знання поглиблюються шляхом самостійної роботи з використанням рекомендованої літератури та інформаційних ресурсів мережі Internet.

На заняттях використовуються персональний комп'ютер, загальноживані 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).

8. 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 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. Студенти, які набрали протягом семестру необхідну для позитивної оцінки кількість балів мають можливості:

- не писати зекзаменаційну письмову роботу, а отримати оцінку „автоматом” відповідно до набраного рейтингу з дисципліни;
- скласти екзамен з метою підвищення оцінки.

8. Студенти, семестровий рейтинг яких відповідає оцінці „незадовільно” зобов’язані скласти екзамен

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

9. 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 надгратки.
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 № 27 від 21.06.2024 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол № 06/2024 від 27.06.2024 р.)

¹Методичною радою університету– для загальноуніверситетських дисциплін.