



Синтез та діагностика наноструктур

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>15 Автоматизація та приладобудування¹</i>
Спеціальність	<i>153 Мікро- та наносистемна техніка</i>
Освітня програма	<i>Мікро- та наноелектроніка</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4,5</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доцент, к.т.н., с.н.с. Іващук Анатолій Васильович Практичні / Семінарські: не передбачені Лабораторні: доцент, к.т.н., с.н.с. Іващук Анатолій Васильович
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс Google classroom, https://meet.google.com/lookup/eu53g5opid тощо)

Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни – основи сучасних технологій вирощування тонких плівок, квантово-розмірних шарів, квантових ниток, квантових точок, фулеренів і вуглецевих нанотрубок, принципи епітаксії і основні режими гетероепітаксійного росту, використання процесів самоорганізації для формування квантових ниток і квантових точок; основні фізичні властивості дво-, одно-, нульвимірних квантових напівпровідникових і вуглецевих структур, питання розмірного квантування і умови спостереження квантово-розмірних явищ.

1.1. Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- використання різноманітних фізичних явищ у низькорозмірних системах для аналізу фізичних і матеріалознавчих проблем функціонування та створення електронних приладів на їх основі;
- самостійно розробляти на основі вивчених фізичних явищ та ефектів нові види електронних приладів на основі квантово-розмірних структур.

1.2. Основні завдання навчальної дисципліни.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

знання: основ сучасних технологій вирощування тонких плівок, квантово-розмірних шарів, квантових ниток, квантових точок, фулеренів і вуглецевих нанотрубок, принципи епітаксії і основні режими гетероепітаксійного росту, можливості використання процесів самоорганізації для

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».

формування квантових ниток і квантових точок; основних фізичних властивостей дво-, одно-, нульвимірних квантових напівпровідникових і вуглецевих структур, питання розмірного квантування і умови спостереження квантово-розмірних явищ, особливості функції густини станів у системах різної вимірності, кінетичні та оптичні характеристики низькорозмірних систем, фізичні явища, які спричиняє зниження вимірності системи – квантовий ефект Холла, квантування провідності балістичних 2-D-контактів і вуглецевих нонотрубок, кулонівську блокаду й одноелектронні процеси у резонансно-тунельних структурах, від’ємний диференційний опір надграток; основ сучасних аналітичних досліджень: електронна растрова і просвічуюча мікроскопія, атомно-силова мікроскопія, тунельна мікроскопія, оже-спектрометрія, вторинна йонна мас-спектрометрія, рентгеноелектронна спектроскопія та ін.

уміння: за відомими електрофізичними параметрами матеріалів та теоретичними співвідношеннями встановлювати зв’язок параметрів електронних приладів з характеристиками матеріалів (напівпровідникових, магнітних, діелектричних та провідникових) та фізичними явищами в низькорозмірних системах.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Курс базується на навчальних дисциплінах “Фізика твердого тіла”, “Фізика напівпровідників”, “Фізика діелектриків”, “Матеріали і компоненти електроніки”, “Теорія поля” та “Твердотільна електроніка”. для успішного засвоєння дисципліни необхідно мати базовий рівень володіння англійською мовою не нижче А2.

3. Зміст навчальної дисципліни .

Розділ 1. Нанотехнології

Тема 1. Технологічні методи вирощування тонких плівок і квантово-розмірних шарів.

Тема 2. Молекулярно-променева епітаксія.

Тема 3. Газофазна епітаксія з металоорганічних сполук.

Тема 4. Технологічні методи одержання квантових ниток.

Тема 5. Технологічні методи одержання квантових точок.

Розділ 2. Квантово-розмірні структури та їх властивості

Тема 1. Потенціальна яма і потенціальний бар’єр.

Тема 2. Вимірність системи і густина станів вільних електронів.

Тема 3. Двовимірні, одновимірні і нульвимірні структури та їх властивості.

Розділ 3. Напівпровідникові надгратки

Тема 1. Класифікація і енергетичний спектр надграток.

Тема 2. Фізичні властивості надграток.

Розділ 4. Структури на основі вуглецю

Тема 1. Вуглець і його структури.

Тема 2. Графен і його властивості.

Тема 3. Фулерени.

Тема 4. Вуглецеві нанотрубки.

Розділ 5. Аналітичні дослідження

Тема 1. Електронна растрова і просвічуюча мікроскопія, атомно-силова мікроскопія, тунельна мікроскопія.

Тема 2. Оже-спектрометрія, вторинна йонна мас-спектрометрія, рентгеноелектронна спектроскопія.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Заячук Д.М. Нанотехнології і наноструктури. – Львів: видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2009, – 581 с.
2. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии, – М.: Техносфера, 2005, – 334 с.
3. Н. Герасименко, Ю. Пархоменко. Кремний – матеріал наноелектроніки. – М.: Техносфера, 2007, – 352 с.
4. А. В. Іващук. Синтез та діагностика наноструктур. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ.

Допоміжна

5. Заячук Д.М. Низькорозмірні структури і надгратки. – Львів: видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2006. 220 с.
6. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: Техносфера, 2005.
7. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / Под ред. Л. Ченга и К. Плога. – М.: Мир, 1989.
8. Технология тонких пленок.Т.1, 2 / Под. Ред. Л. Майсела и Р. Гленга. – М.: Советское радио, 1977.
9. Stangl J., Holy V., Bauer G. Structural properties of self-organized semiconductor nanostructures // Rev. Mod. Phys. -2004 / - V. 76. – P.725 – 783.
10. Tseng A. A., Notagriacomo A., Chen T. P. Nanofabrication by scanning probe microscope lithography: A review // Vac. Sci. Technol. B. – 2005. – V. 23, # 3. – P. 877 – 894.
11. Д. Вудраф, Т. Делчар "Современные методы исследования поверхности" М., Мир, 1989.
12. Нефедов В.И., Черепин В.Т. Физические методы исследования поверхности твердых тел. М.: Наука, 1983. С. 150-293.
13. Оура К., Лифшиц В. Г., Саранин А. А. и др. Введение в физику поверхности / Под ред. В. И. Сергиенко. — М.: Наука, 2006. — 490 с.
14. Бриггс Д., Сих М.П. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. — М.: Мир, 1987. — 598 с
15. Электронная и ионная спектроскопия твердых тел / Ред. Л. Фирменс, Дж. Венник, В. Декейсер М.: Мир, 1981. С. 345-464.
16. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Сер. "Проблемы прикладной физики" / Ред. А. Бериш, М.: Мир, 1981. Вып. I,II.

Зазначені матеріали можна знайти у бібліотеці, методичному кабінеті, інтернеті.

Зв'язок цих ресурсів з конкретними темами представлено у структурі навчальної дисципліни – у лекціях.

Інформаційні ресурси

1. Сайт кафедри мікроелектроніки. Розділ електронна бібліотека: <http://me.kpi.ua/index.php?id=61>
2. Електронний кампус НТУУ «КПІ».

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни

У навчальній дисципліні заплановано: 18 лекцій, 6 лабораторних робіт, індивідуальні завдання, самостійна робота студента. Детально представлені в структурі навчальної дисципліни.

З метою належного контролю засвоєння матеріалу студентами передбачено проведення 2-х модульних контрольних робіт (30 хв. підготовки відповідей).

Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (комп'ютерні й практикум)	СРС
1	2	3	4	5	6
Розділ 1. Нанотехнології					
<i>Тема 1. Технологічні методи вирощування тонких плівок і квантово-розмірних шарів.</i>	12	4		28	
<i>Тема 2. Молекулярно-променева епітаксія.</i>	2	2			
<i>Тема 3 Газофазна епітаксія з металоорганічних сполук.</i>	4	2			2
<i>Тема 4. Технологічні методи одержання квантових ниток.</i>	4	2			2
<i>Тема 5. Технологічні методи одержання квантових точок.</i>	2	2			
Разом за розділом 1	44	12		28	4
Розділ 2. Квантово-розмірні структури та їх властивості					
<i>Тема 1. Потенціальна яма і потенціальний бар'єр.</i>	4	2			2
<i>Тема 2. Вимірність системи і густина станів вільних електронів.</i>	4	2			2
<i>Тема 3. Двовимірні, одновимірні і нульвимірні структури та їх властивості.</i>	4	2			2
Разом за розділом 2	12	6			6
Розділ 3. Напівпровідникові надгратки					
<i>Тема 1. Класифікація і енергетичний спектр надграток.</i>	4	2			2
<i>Тема 2. Фізичні властивості надграток.</i>	4	2			2
Разом за розділом 3	8	4			4
Розділ 4. Структури на основі вуглецю					
<i>Тема 1. Вуглець і його структури</i>	4	2			2
<i>Тема 2. Графен і його властивості.</i>	2	2			
<i>Тема 3. Фулерени.</i>	4	2			2
<i>Тема 4. Вуглецеві нанотрубки.</i>	2	2			
Разом за розділом 4	12	8			4
<i>Контрольна робота 1 з розд. 1-4</i>	6				6
Розділ 5. Аналітичні дослідження					
<i>Тема 1. Електронна растрова і просвічуюча мікроскопія, атомно-силова мікроскопія, тунельна</i>	14	4		8	2

<i>мікроскопія.</i>					
<i>Тема 2. Оже-спектрометрія, вторинна іонна мас-спектрометрія, рентгеноелектронна спектроскопія.</i>	4	2			2
Разом за розділом 5	18	6		8	4
<i>Контрольна робота 2 з розд. 5</i>	6				6
<i>Реферат</i>	24				24
<i>Екзамен</i>	20				20
Всього годин:	150	36		36	78

Лекції

1. Технологічні методи вирощування тонких плівок і квантово-розмірних шарів [1, 2, 4, 8]:
 - основи тонкоплівкових технологій;
 - фізичне осадження тонких плівок;
 - хімічне осадження тонких плівок.
2. Технологічні методи вирощування тонких плівок і квантово-розмірних шарів [1, 2, 4, 8]:
 - вакуумне осадження тонких плівок;
 - випаровування одноатомних систем;
 - випаровування багатокомпонентних систем;
 - зародкоутворення у тонких плівках;
 - підкладки у тонкоплівкових технологіях.
3. Молекулярно-променева епітаксія [1, 6, 7]:
 - формування молекулярних пучків;
 - ріст плівки у методі МПЕ;
 - підкладки у методі МПЕ;
 - легування і контроль параметрів плівок у методі МПЕ.
4. Газофазна епітаксія з металоорганічних сполук [1, 2, 3, 6]:
 - МОС гідридна епітаксія і піроліз;
 - кристалізація у процесі МОС гідридної епітаксії;
 - легування у процесі МОС гідридної епітаксії.
5. Технологічні методи одержання квантових ниток [1, 2, 6, 10]:
 - літографічний метод одержання квантових ниток;
 - використання електричного поля для створення квазіодновимірних провідних каналів;
 - використання профільованих поверхонь для створення квантових ниток.
6. Технологічні методи одержання квантових точок [1, 2, 4, 6, 10]:
 - літографічний метод одержання квантових точок;
 - використання процесів самоорганізації для формування ансамблів квантових точок;

- створення ансамблів квантових точок методом колоїдної хімії; зондові технології.

7. Потенціальна яма і потенціальний бар'єр [1, 5]:

- просторові та енергетичні характеристики потенціальної ями;
- характер руху класичних і квантово-механічних частинок у потенціальній ямі;
- енергетичний спектр квантово-механічної частинки в потенціальній ямі;
- тунелювання квантово-механічної частинки крізь потенціальний бар'єр;
- резонансно-тунельні структури.

8. Вимірність системи і густина станів вільних електронів [1, 5]:

- вимірність системи і "к-об'єм" одного квантового стану вільного електрона;
- алгоритм розрахунку густини станів вільних електронів;
- густина станів, лінійний і квадратичний закони дисперсії 0D системи.

9. Двовимірні, одновимірні і нульвимірні структури та їх властивості [1, 5]:

- двовимірні кристали і системи;
- двовимірний електронний газ на гетеропереході, у квантовій ямі та інверсійних шарах;
- квантовий ефект Холла;
- одновимірні кристали; перехід Пайєрлса;
- одновимірний електронний газ сенсор;
- квантові точки великого і малого радіуса;
- кулонівська блокада та одноелектронні процеси.

10. Класифікація і енергетичний спектр надграток [1, 5]:

- композиційні надгратки;
- леговані надгратки;
- мінізонна енергетична структура надграток;
- енергетичні характеристики надграток.

11 Фізичні властивості надграток [1, 5]:

- густина станів у надгратках;
- концентрація вільних носіїв заряду у надгратках;
- оптичні властивості надграток;
- електропровідність надграток;
- вольт-амперні характеристики надграток.

12. Вуглець і його структури [1, 2, 6]:

- електронна структура і хімічні зв'язки;
- структура алмазу;
- структура графіту.

13. Графен і його властивості [1, 2, 6]:

- електронна структура і властивості;

- оптичні властивості;
- перспективи використання в електроніці.

14. Фулерени [1, 2, 6]:

- структура фулеренів;
- формування і стабільність фулеренів;
- ідентифікація фулеренів;
- похідні фулеренів.

15. Вуглецеві нанотрубки [1, 2, 6]:

- просторова і енергетична структура вуглецевих нанотрубок;
- дефекти у вуглецевих нанотрубках;
- електропровідність вуглецевих нанотрубок;
- методи одержання і модифікації вуглецевих нанотрубок;
- адсорбційні властивості вуглецевих нанотрубок;
- емісійні властивості вуглецевих нанотрубок.

16. Електронна растрова і просвічуюча мікроскопія [11]:

- принцип роботи;
- роздільна здатність;
- застосування.

17. Атомно-силова мікроскопія, тунельна мікроскопія [4, 11, 13]:

- принцип дії;
- роздільна здатність;
- застосування.

18. Оже-спектрометрія, вторинна іонна мас-спектрометрія, рентгеноелектронна спектроскопія [11 - 16]:

- оже-спектрометрія;
- вторинна іонна мас-спектрометрія;
- рентгеноелектронна спектроскопія.

Лабораторні заняття

Основне завдання лабораторних занять – набуття досвіду експериментальних досліджень та аналізу властивостей різноманітних наноструктур, розвиток **уміння** застосовувати теоретичні знання для практичного використання фізичних ефектів з метою побудови електронних приладів на основі квантово-розмірних структур.

№ з/п	Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)	Кількість ауд. годин
1	Селективне травлення поверхні кремнію.	4
2	Формування та дослідження функціональних властивостей плівок наноструктурованого кремнію.	4
3	Формування плівки SiO ₂ методом термічного окислення кремнію.	6

4	Нанесення тонких металевих плівок на напівпровідникових пластинах методом вакуумного електронно-променевого і термічного випаровування.	8
5	Дослідження технологічного процесу створення електронно-діркового переходу в кремнії <i>p</i> -типу провідності.	8
6	Нанесення тонких металевих плівок на напівпровідникових пластинах методом вакуумного магнетронного нанесення.	6

6. Самостійна робота студента

До самостійної роботи студента входять:

- 1) підготовка до аудиторних занять,
- 2) проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях,
- 3) написання реферату,
- 4) вивчення тем, що виноситься на самостійне опрацювання
- 5) підготовка до контрольних робіт та екзамену.

Перелік тем, що виноситься на самостійне опрацювання і терміни часу, який відводяться на самостійну роботу студента.

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Робочий тиск в технології МОС гідридної епітаксії [1, 2, 7]	2
2	Використання профільованих поверхонь для одержання квантових ниток [1, 2, 7]	2
3	Захоплення квантово-механічних частинок потенціальними ямами різної розмірності [1, 2, 4]	2
4	Розрахунок густини станів вільних електронів [1, 2, 4]	2
5	Тонкі кристалічні плівки як квазідвовимірні структури [1-4]	2
6	Перехід "напівметал – напівпровідник" у надгратках [1-4]	2
7	Високочастотна провідність надграток у сильному електричному полі [1, 4]	2
8	Лінійні структури і моноциклічні кільця вуглецю [1, 2, 5]	2
9	Одержання фулеренів та їхніх похідних [1, 2, 5]	2
10	Детектування вторинних електронів у РЕМ [10]	2
11	Пошаровий аналіз елементного складу твердих тіл методом вторинної іонної мас-спектрометрії [10, 12].	2
12	Підготовка індивідуального завдання (реферату) [1-15]	24
13	Підготовка до контрольної роботи 1 [1- 9]	6
14	Підготовка до контрольної роботи 2 [10 - 15]	6
15	Підготовка до екзамену [1-15]	20

Підготовку реферату (аналітичного огляду) на одну з перелічених тем (*Додаток 1*) передбачено в якості індивідуальних завдань для стимуляції самостійної роботи студентів, заохочення їх до самовдосконалення, набуття уміння працювати з науково-методичною літературою по заданій темі та знайомства з новітніми нанотехнологіями та аналітичними методами досліджень наноструктур.

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування аудиторних занять (лекцій):

- 1) студенти які запізнилися на заняття більше ніж на 5 хвилин до перерви в аудиторію не допускаються;
- 2) використання засобів зв'язку з дозволу викладача.

Для отримання заліку (допуску до іспиту) з курсу лабораторних робіт необхідно:

1. Особисто виконати всі передбачені програмою роботи. Студенти які запізнилися на заняття більше ніж на 15 хвилин до роботи не допускаються і пара вважається пропущеною.

Пропущенні роботи відробляються у призначений викладачем час. Наявність поважних причин, підтверджених документально (медична довідка) не звільняє від необхідності відпрацювання, але враховується при атестації.

В разі пропуску більше ніж 4 занять без поважних причин студент не допускається до заліку за невиконання календарного плану.

2. Вчасно захистити всі лабораторні роботи і отримати за захист не менше 50% рейтингу.

Для отримання поточних атестацій необхідно виконати календарний графік і успішно захистити не менше 1 роботи до першої атестації та не менше 2-х робіт до другої атестації.

Рейтингова оцінка за одну лабораторну роботу – 4 бали.

Робота вважається захищеною при отриманні не менше 2 балів

Оцінка складається з двох частин:

Загальна оцінка для бригади:

0,5 бала – за оформлення протоколу та якість розрахунків

0,5 бала – за висновки по роботі.

Під час виконання роботи кожна бригада (навіть якщо роботу виконує паралельно кілька бригад) веде записи вимірювань які в кінці роботи перевіряються і підписуються викладачем. Ці записи додаються до протоколу і в разі їх відсутності протокол не приймається і вся бригада отримує за протокол 0 балів.

За списані у інших бригад протоколи, висновки, розрахунки, графіки всій бригаді виставляється загальна оцінка – 0 балів.

Особиста оцінка – 3 балів за письмову відповідь на 3 питання по темі лабораторної роботи.

Студенти які завчасно (до початку залікової сесії) здають лабораторні роботи отримують додатково 20% рейтингових балів (але не більше максимального балу).

Захист індивідуального завдання (реферату) передбачає усну відповідь студента на теоретичні питання по тематиці реферату. Бали на захисті роботи нараховуються за правильність та повноту відповідей.

Політика дедлайнів та перескладань - у відповідності з нормативною базою університету.

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

Поточний контроль: експрес-опитування, МКР.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання / зарахування усіх лабораторних робіт / семестровий рейтинг більше 40 балів.

Система рейтингової оцінки видів занять:

№ п/п	Заняття, що підлягають рейтинговій оцінці	Загальна кількість завдань	Макс. бал за 1 завдання	Мін. бал за 1 завдання	Загальна кількість балів
1.	Конспектування відвідуваних лекцій	16	1		16
2.	Лабораторні роботи: своєчасне виконання захист	6	4	2	24
3.	Модульні контрольні роботи	2	20	7	40
4.	Індивідуальне завдання (реферат): своєчасне виконання та захист	1	20	7	20
Семестрові бали					100

Оцінювання конспекту лекцій здійснюється на основі наявної кількості та якості законспектованих відвідуваних лекцій.

Виконання лабораторної роботи полягає у тому, що студент практично виконав технічне завдання, зробив необхідні розрахунки і побудував графічні залежності (якщо вони передбачені). Виконання усіх передбачених навчальним планом дисципліни лабораторних робіт є обов'язковим.

Захист лабораторної роботи передбачає відповідь студента на 2...4 запитання по темі роботи. Захист усіх передбачених навчальним планом дисципліни лабораторних робіт є обов'язковим.

Модульна контрольна робота проводиться протягом 30 хвилин на занятті. Модульна контрольна робота – це письмова відповідь на 2 теоретичних питання у відповідності до тематики змістовного модуля.

Індивідуальне завдання (реферат) – це здійснення аналітичного огляду літератури на вказану тему (перелік тем наведено у додатку 1). Виконується у години самостійної роботи. Бали за виконання нараховуються на основі повноти розкриття теми.

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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль представлені у додатку 2 до силабусу.

Можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни здійснюється у відповідності з нормативними документами університету.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент, к.т.н., с.н.с. Івашук Анатолій Васильович

Ухвалено кафедрою МЕ (протокол № ___ від _20.01.2021)

Погоджено Методичною комісією факультету² (протокол № __ від _____)

² Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.

Теми рефератів (аналітичних оглядів)

1. Технологічні методи вирощування тонких плівок і квантово-розмірних шарів.
2. Вакуумне осадження квантово-розмірних плівок.
3. Хімічне осадження квантово-розмірних плівок.
4. Процеси випаровування у технології осадження тонких плівок з газової фази.
5. Процеси конденсації у технології осадження тонких плівок з газової фази.
6. Зародкоутворення у тонких плівках.
7. Епітаксія і псевдоморфізм.
8. Епітаксія і основні чинники, що її формують.
9. Епітаксія і морфологія та орієнтація поверхні підкладки.
10. Молекулярно-променева епітаксія.
11. Молекулярно-променева епітаксія шарів кремнію.
12. Молекулярно-променева епітаксія сполук AIIIⁿBV.
13. Молекулярно-променева епітаксія сполук AIIⁿBVI.
14. Легування і контроль параметрів плівок у методі МПЕ.
15. Технологічні методи одержання квантових ниток.
16. Технологічні методи одержання квантових точок.
17. Фізичні властивості надграток.
18. Графен і його властивості.
19. Фулерени.
20. Фулериди.
21. Фулерици.
22. Вуглецеві нанотрубки.
23. Електронна растрова мікроскопія.
24. Електронна просвічуюча мікроскопія.
25. Атомно-силова мікроскопія.
26. Тунельна мікроскопія.
27. Оже-спектрометрія.
28. Вторинна іонна мас-спектрометрія.
29. Рентгенівська дифрактометрія.

**Перелік питань,
які виносяться на семестровий контроль**

1. Технологічні методи вирощування тонких плівок і квантово-розмірних шарів.
2. Основи тонкоплівкових технологій.
3. Фізичне осадження тонких плівок.
4. Хімічне осадження тонких плівок.
5. Вакуумне осадження тонких плівок.
6. Випаровування одноатомних та багатокомпонентних систем.
7. Зародкоутворення у тонких плівках; підкладки у тонкоплівкових технологіях.
8. Молекулярно-променева епітаксія.
9. Формування молекулярних пучків.
10. Ріст плівки та підкладки у методі МПЕ.
11. Легування і контроль параметрів плівок у методі МПЕ.
12. Газофазна епітаксія з металоорганічних сполук.
13. МОС гідридна епітаксія і піроліз.
14. Кристалізація у процесі МОС гідридної епітаксії.
15. Легування у процесі МОС гідридної епітаксії.
16. Технологічні методи одержання квантових ниток.
17. Літографічний метод одержання квантових ниток.
18. Використання електричного поля для створення квазіодновимірних провідних каналів.
19. Використання профільованих поверхонь для створення квантових ниток.
20. Технологічні методи одержання квантових точок.
21. Літографічний метод одержання квантових точок.
22. Використання процесів самоорганізації для формування ансамблів квантових точок.
23. Створення ансамблів квантових точок методом колоїдної хімії, зондові технології.
24. Потенціальна яма і потенціальний бар'єр.
25. Просторові та енергетичні характеристики потенціальної ями.
26. Характер руху класичних і квантово-механічних частинок у потенціальній ямі.
27. Енергетичний спектр квантово-механічної частинки в потенціальній ямі.
28. Тунелювання квантово-механічної частинки крізь потенціальний бар'єр.
29. Резонансно-тунельні структури.
30. Вимірність системи і густина станів вільних електронів.

31. Вимірність системи і "k-об'єм" одного квантового стану вільного електрона.
32. Алгоритм розрахунку густини станів вільних електронів.
33. Густина станів, лінійний і квадратичний закони дисперсії.
34. 0D системи.
35. Двовимірні, одновимірні і нульвимірні структури та їх властивості.
36. Двовимірні кристали і системи.
37. Двовимірний електронний газ на гетеропереході, у квантовій ямі та інверсійних шарах.
38. Квантовий ефект Холла.
39. Одновимірні кристали; перехід Пайєрлса.
40. Одновимірний електронний газ.
41. Квантові точки великого і малого радіуса.
42. Кулонівська блокада та одноелектронні процеси.
43. Класифікація і енергетичний спектр надграток.
44. Композиційні та леговані надгратки.
45. Мінізонна енергетична структура надграток.
46. Енергетичні характеристики надграток.
47. Фізичні властивості надграток.
48. Густина станів і концентрація вільних носіїв заряду у надгратках.
49. Оптичні властивості надграток.
50. Електропровідність та вольт-амперні характеристики надграток.
51. Вуглець і його структури.
52. Електронна структура і хімічні зв'язки.
53. Структури алмазу та графіту.
54. Графен і його властивості, перспективи використання в електроніці.
55. Електронна структура і властивості графену.
56. Оптичні властивості графену.
57. Фулерени їх структура.
58. Технологія формування і стабільність фулеренів.
59. Ідентифікація та похідні фулеренів.
60. Вуглецеві нанотрубки.
61. Просторова і енергетична структура вуглецевих нанотрубок.
62. Електропровідність вуглецевих нанотрубок.
63. Методи одержання, модифікації та дефекти вуглецевих нанотрубок.
64. Адсорбційні та емісійні властивості вуглецевих нанотрубок.
65. Електронна растрова мікроскопія.
66. Принцип роботи PEM.
67. Роздільна здатність PEM.

68. Застосування РЕМ.
69. Електронна просвічуюча мікроскопія.
70. Принцип роботи РЕМ.
71. Роздільна здатність РЕМ.
72. Застосування РЕМ.
73. Атомно-силова мікроскопія.
74. Принцип дії АСМ.
75. Роздільна здатність АСМ.
76. Застосування АСМ.
77. Тунельна мікроскопія.
74. Принцип дії ТЕМ.
75. Роздільна здатність ТЕМ.
76. Застосування ТЕМ.
77. Оже-спектрометрія.
78. Вторинна іонна мас-спектрометрія.
79. Рентгеноелектронна спектрометрія.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доц., к.т.н, доц. Іващук А.В.

Ухвалено кафедрою мікроелектроніки (протокол № 13 від 20.01.2021)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № __ від _____)