

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Навчально-науковий інститут високих технологій**

Кафедра нанofізики конденсованих середовищ

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Заступник директора

з науково – педагогічної роботи

Галина ГРАБЧУК

«24» травня 2022 року



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**НАНОМАТЕРІАЛИ ТА СТРУКТУРИ НА ЇХ ОСНОВІ**

для студентів

галузь знань 10 Природничі науки  
спеціальність 102 Хімія  
освітній рівень другий (магістр)  
освітньо-наукова програма Високі технології (хімія та наноматеріали)  
вид дисципліни вибіркова

Форма навчання денна  
Навчальний рік 2021/2022  
Семестр **2**  
Кількість кредитів ECTS **4.0**  
Мова викладання, навчання та оцінювання українська  
Форма заключного контролю залік

Викладач: Євтух А.А.

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» \_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

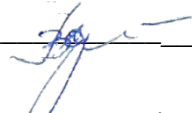
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» \_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

**КИЇВ – 2022**

Розробник: Євтух Анатолій Антонович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри  
нанофізики конденсованих середовищ

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри нанофізики конденсованих середовищ

 Валерій СКРИШЕВСЬКИЙ

Протокол № 5 від «19» квітня 2022 р.

Схвалено науково - методичною комісією Навчально-наукового інституту високих  
технологій

---

Протокол від «13» травня 2022 року № 4

Голова науково-методичної комісії  Наталія РУСІНЧУК

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** — Ознайомлення студентів з основними наноматеріалами, їх властивостями, ідеями, застосуванням та методами фізики сучасних і перспективних напівпровідникових приладів на основі наноструктур, що є базовими для мікро- та наноелектроніки. Надати знання з фізики нанорозмірних структур, їх властивостей, основ роботи напівпровідникових приладів на основі наноструктур, їх функціонального призначення та використання напівпровідникових приладів в електронних системах.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності):**

Дисципліна базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки, зокрема таких як «Електрика та магнетизм», «Оптика», «Основи фізики твердого тіла», «Фізичні взаємодії в наносистемах», «Електрофізичні, хімічні та біологічні методи досліджень».

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

В курсі „Наноматеріали та структури на їх основі” детально розглядаються властивості наноматеріалів, фізичні процеси, що протікають під дією електричного поля в нанорозмірних структурах та фізика роботи напівпровідникових наноелектронних приладів. Основна увага направлена на (а) фізичні властивості наноматеріалів, основні відомості про наночастинки, нанокластери, наноструктури, (б) фізичні явища в наноструктурах, що протікають під дією освітлення і електричного поля (екранування електричного поля, електронний транспорт в тонких та надтонких напівпровідникових) та їх використання; (в) фізичні процеси в напівпровідникових наноелектронних приладах, що обумовлюють їх застосування в наноелектронних системах.

### **4. Завдання (навчальні цілі):**

Дисципліна спрямована на засвоєння студентами базових знань з фізики наноматеріалів, основ технології їх виготовлення, роботи напівпровідникових наноелектронних приладів і використання наноматеріалів та наноструктур.

*Навчання дисципліні має на меті розвивати у студентів такі компетентності:*

ЗК1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності

ЗК2. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями.

ЗК3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність до адаптації та дії в новій ситуації.

ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність), а також формулювати судження, маючи неповну або обмежену інформацію.

ЗК7. Навички використання інформаційних і-комунікаційних технологій в хімічних дослідженнях та професійній діяльності.

ЗК8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ФК1. Здатність використовувати закони, теорії та концепції хімії у поєднанні із відповідними математичними інструментами для опису природних явищ.

ФК2. Здатність будувати адекватні моделі хімічних явищ, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, в тому числі з використанням методів молекулярного, математичного і комп'ютерного моделювання.

ФК5. Здатність застосовувати методи комп'ютерного моделювання для вирішення наукових, хіміко-технологічних проблем та проблем хімічного матеріалознавства.

**5. Результати навчання за дисципліною:** (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Основні типи наноматеріалів та їх фізичні властивості.	Лекція	Модульна контрольна робота: 2 запитання	10%
1.2	Фізичні основи роботи напівпровідникових приладів	Лекція	Модульна контрольна робота: 2 запитання	10%
1.3	Електронні процеси, що протікають в наноструктурах під дією освітлення та електричного поля	Лекція	Модульна контрольна робота: 2 запитання	10%
1.4	Основні параметри наноелектронних приладів	Лекція	Модульна контрольна робота: 2 запитання	10%
2.1	Пояснити залежність властивостей матеріалів від розмірів	Лекція, Самостійна робота студента	Доповідь під час інтерактивних лекцій:	5%
2.2	Пояснити принцип роботи приладів напівпровідникової електроніки	Лекція Самостійна робота студента	Доповідь під час інтерактивних лекцій:	5%
2.3	Пояснити особливості роботи приладів на основі наноструктур, оцінювати величини ефектів, та пояснювати результати експериментів	Лекція, лабораторні роботи	Звіти лабораторних робіт	10%

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання** (не обов'язково для вибіркових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3
1. Здатність використовувати закони, теорії та концепції хімії у поєднанні із відповідними математичними інструментами для опису природних явищ.	+	+	+	+	+	+	+
2. Здатність будувати адекватні моделі хімічних явищ, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, в тому числі з використанням методів молеку-	+	+	+	+	+	+	+

-

лярного, математичного і комп'ютерного моделювання.							
5. Здатність застосовувати методи комп'ютерного моделювання для вирішення наукових, хіміко-технологічних проблем та проблем хімічного матеріалознавства.					+	+	+
8. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в галузі хімії, вибирати напрями та відповідні методи для їх розв'язання на основі розуміння сучасної проблематики досліджень в галузі хімії та беручи до уваги наявні ресурси.					+	+	+

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100 бальною шкалою.

#### - семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1- 20 балів;

2. Модульна контрольна робота 2- 20 балів;

3. Модульна контрольна робота 3- 20 балів;

#### - підсумкове оцінювання у формі екзамену.

- максимальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом під час іспиту - 40 балів по 100-бальній шкалі;

- форма проведення – письмові відповіді.

- Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за екзамен не може бути меншою 24 балів.

- Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше ніж 36 балів.

- Студент допускається до екзамену за умови виконання 60 % передбачених планом домашніх робіт.

### 7.2 Організація оцінювання:

Упродовж семестру, після завершення відповідних тем, проводиться письмова контрольна робота. Протягом семестру студенти працюють в аудиторії. Для студентів, які упродовж семестру не досягли мінімального рубіжного рівня оцінки (36 балів), для одержання допуску до іспиту обов'язковим є виконання додаткових завдань.

Умовою отримання позитивної результуючої оцінки за дисципліну є досягнення не менш як 60% від максимально можливої кількості балів.

Якщо студент на іспиті отримав менше 24 балів, він отримує оцінку «незадовільно».

### 7.3 Шкала відповідності оцінок

<b>Відмінно / Excellent</b>	90-100
<b>Добре / Good</b>	75-89
<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Незадовільно / Fail</b>	0-59
<b>Зараховано / Passed</b>	60-100
<b>Не зараховано / Fail</b>	0-59

## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і семінарських / практичних / лабораторних занять

№ п/п	Назва теми*	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота

<b>1. Наночастинки та наноструктуровані матеріали</b>				
1	<b>Тема 1. Мікро- і наноструктури.</b> Чому нано? Мікро- та нано. Класифікація наноструктур. Основні електронні властивості атомів і твердих тіл. Ізольований атом. Зв'язок між атомами. Багатоатомні тверді тіла. Модель вільного електрона і енергетичні зони. Кристали. Періодичність кристалічних ґраток. Електронна провідність. Ефекти нанометрового масштабу довжин. Зміни повної енергії системи. Зміни структури системи. Як нанометрові розміри впливають на властивості.	2		
2	<b>Тема 2. Нанотехнології.</b> Процеси «зверху-вниз». Подрібнення. Літографія. Механічна обробка. Орієнтаційно-залежне травлення. Si Нанодроти. Наностержні GaN. Фотоелектрохімічне травлення. Процеси «знизу вгору». Методи осадження з газової фази. Термоліз. Лазерне випаровування. Плазмове осадження. Технології епітаксії. Молекулярно-променева епітаксія. Металорганічна CVD. Гетероепітаксія. Рідиннофазні методи. Методи шаблонного росту наноматеріалів. Впорядкування наносистем. Самозборка і самоорганізація.	2		
3	<b>Тема 3. Властивості індивідуальних наночастинок.</b> Квантово-розмірні ефекти. Металічні нанокластери. Магічні числа. Геометрична структура. Електронна структура. Реакційна здатність. Магнітні кластери. Перехід від макро- до нано-. Напівпровідникові наночастинки. Оптичні властивості. Фотофрагментація. Кулонівський вибух. Кластери атомів газів і молекулярні кластери.	2		
4	<b>Тема 4. Вуглецеві наноструктури.</b> Вуглецеві молекули. Природа вуглецевого зв'язку. Вуглецеві кластери. Фулерен. Вуглецеві нанотрубки. Застосування вуглецевих нанотрубок. Графен.	1		
5	<b>Тема 5. Об'ємні наноструктуровані матеріали.</b> Наноструктуровані багатошарові матеріали. Пористий кремній. Розупорядковані поверхневі структури. Наноструктуровані кристали. Наноструктуровані кристали для фотоніки.	1	4	
<b>Модульна контрольна робота 1</b>				
<b>2. Напівпровідникові наноструктури</b>				
6	<b>Тема 6. Основи фізики напівпровідників.</b> Що таке напівпровідник? Легування. Ефективна маса. Перенесення, рухливість носіїв і електрична провідність. Оптичні властивості напівпровідників. Екситони. P-n-перехід.	1		2

	Фонони. Типи напівпровідників.			
7	<b>Тема 7. <u>Квантові ями, дроти і точки.</u></b> Ефекти, обумовлені розмірами і розмірністю наноб'єктів. Розмірні ефекти. Квантові обмеження в напівпровідникових наноструктурах. Квантові обмеження в одному вимірі: квантові ями. Квантові обмеження у двох вимірах: квантові дроти. Квантові обмеження в трьох вимірах: квантові точки. Надгратки. Розриви зон. Густина електронних станів. Розмірність об'єкта і електрони провідності. Фермі-газ і густина станів. Потенціальні ями. Часткова локалізація. Властивості, що залежать від густини станів. Екситони.	2		
8	<b>Тема 8. <u>Напівпровідникові нанотехнології.</u></b> Методи виготовлення. Вимоги до ідеальної напівпровідникової наноструктури. Епітаксійне вирощування квантових ям. Літографія і травлення. Вирощування на краю відколу. Ріст на віцинальних підкладках. Деформаційні точки та дроти. Електрично наведені точки та дроти. Квантові ями з флуктуаціями. Термічний відпал квантових ям. Напівпровідникові нанокристали. Колоїдні квантові точки. Методи самозборки.	2	6	2
9	<b>Тема 9. <u>Фізичні явища в напівпровідникових наноструктурах.</u></b> Модуляційне легування. Квантовий ефект Холла. Резонансне тунелювання. Одноелектронне тунелювання. Ефект зарядки. Балістичне перенесення носіїв. Міжзонне поглинання напівпровідникових наноструктурах. Всерединозонне поглинання в напівпровідникових наноструктурах. Процеси світловипромінювання в наноструктурах. Фононне горло в квантових точках. Квантово-обмежений ефект Штарка. Нелінійні ефекти. Когерентність і процеси дефазування. Характеристики напівпровідникових наноструктур. Оптичні і електричні дослідження. Структурні дослідження.	2		
10	<b>Тема 10. <u>Застосування напівпровідникових наноструктур.</u></b> Інфрачервоні детектори. Лазери на квантових точках. Надпровідність. Енергонезалежна пам'ять. Прилади з плаваючим затвором. МДОН структури. Енергонезалежна нанокристалічна пам'ять.	1	6	
11	<b>Тема 11 <u>Наномашини і наноприлади.</u></b> Мікроелектромеханічні системи (MEMSs). Наноелектромеханічні системи (NEMSs). Виготовлення. Наноприлади і наномашини. Молекулярні і супрамолекулярні перемикачі.	2		

	<b>Модульна контрольна робота 2</b>			
<b>3. Наноматеріали і нанотехнології в хімії та біології</b>				
12	<b>Тема 12. Самозборка і каталіз.</b> Процес само зборки. Напівпровідникові острівці. Моношари. Природа каталізу. Площа поверхні наночастинок. Пористі матеріали. Стовпчаті глини. Колоїди.	2		2
13	<b>Тема 13. М'які молекулярні матеріали.</b> Будівельні блоки. Синтетичні. Біологічні. Принципи само зборки. Самозборка як метод отримання і структурування наночастинок. Наночастки одержувані при міцелярній і везикулярній полімеризації. Рідкокристалічні наноклі. Наноструктури, отримувані за шаблоном. Рідкокристалічні мезофази. Міцели і везикули. Ламелярна фаза. Рідкі кристали.	2		
14	<b>Тема 14. Біонанотехнології.</b> Нові методи дослідження біологічних систем. Скануюча зондова мікроскопія біомолекулярних систем. Атомно-силові вимірювання в біологічних системах. Біоміметичні нанотехнології. ДНК як будівельний матеріал нанотехнологій. ДНК як шаблон для молекулярної електроніки. Мотори і наномашини на основі ДНК. Дія біологічних моторів. Штучний фотосинтез.	2		
12	<b>Модульна контрольна робота 3</b>			
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>80</b>

\*Примітка: слід зазначити також теми, винесені на самостійне вивчення

**Загальний обсяг 120 год**, в тому числі:

Лекцій – **24 год**.

Лабораторні - **16 год**.

Самостійна робота - **80 год**.

### **9. Рекомендовані джерела:**

**Основна(Базова):**

1. Sze S.M., Ng Kwong K. Physics of semiconductor devices.- Wiley-Interscience, 2007
2. Sze S.M. Modern semiconductor device physics.- 1998
3. Benellmekki M., Elbe A. Nanostructured thin films. Fundamentals and applications.- Elsevier, 2019.
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов.- «Мир», 1984, Т.1, Т2.
5. Zhuiykov S. Nanostructured semiconductors.- Elsevier, 2018.
6. Sze S.M. Modern semiconductor device physics.- Wiley-Interscience, 1998, 547 P.
7. Tiwari A., Uzum L. Advanced in functional materials.- Wiley,2015.
8. McGuire G.E. Characterization of Semiconductor materials.- Noyes Publications, 1989.
9. Evtukh, H. Hartnagel, O. Yilmazoglu, H. Mimura, D. Pavlidis. Vacuum Nanoelectronic Devices – Novel Electron Sources and Applications. John Wiley & Sons, Inc, 2015, 495 P. ISBN: 9781119037958



10. Готра З.Ю. та ін. Нанoeлектроніка. Львів-Ліга-Прес-2009, 342 С.
11. Прохоров Е.Д. Твердотільна електроніка. – Підручник, Харківський нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2007, 542 С.

***Додаткова :***

12. 1. Литовченко В.Г., Євтух А.А., Лепіх Я.І., Горбанюк Т.І. Фізика та хімія напівпровідникових адсорбційних сенсорів.- Київ, «Наукова думка», 2021.
13. 2. Zhuiykov S. Nanostructured semiconductors.- Elsevier, 2018.
14. 3. Benellmekki M., Elbe A. Nanostructured thin films. Fundamentals and applications.- Elsevier, 2019.
15. 4. Tiwari A., Uzum L. Advanced in functional materials.- Wiley,2015.
16. 5. McGuire G.E. Characterization of Semiconductor materials.- Noyes Publications, 1989.

***Інтернет ресурси:***

17. <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/7885>
18. [https://www.mdpi.com/journal/nanomaterials/special\\_issues/Nano\\_Biology](https://www.mdpi.com/journal/nanomaterials/special_issues/Nano_Biology)
19. <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/nanomaterial>
20. [https://www.esearchgate.net/publication/226922842\\_Nanomaterials\\_Nanoparticles\\_and\\_Nanostructures](https://www.esearchgate.net/publication/226922842_Nanomaterials_Nanoparticles_and_Nanostructures)
21. [https://nanohub.org/resources/22260/download/NACK\\_U3\\_Maeder\\_Nanoparticles\\_Nanostructures.pdf](https://nanohub.org/resources/22260/download/NACK_U3_Maeder_Nanoparticles_Nanostructures.pdf)

**Додаток 1**

**Питання на СРС з курсу  
«Наноматеріали та структури на їх основі»**

(викладач Євтух Анатолій Антонович, E-mail: anatoliy.evtukh@gmail.com, T<sub>m</sub>=0937513911)

**Тема 1.** Мікро- і наноструктури. Вступ. Завдання курсу. Просторові масштаби об'єктів сучасних електронних і живих систем. Інформаційна еволюція. Тенденції розвитку напівпровідникових електронних приладів. Сучасний стан та перспективи. Закон Мура.

**Тема 2.** Нанотехнології. Процеси «зверху-вниз». Подрібнення. Літографія. Механічна обробка. Орієнтаційно-залежне травлення. Si Нанодропи. Наностержні GaN. Фотоелектрохімічне травлення. Процеси «знизу вгору». Методи осадження з газової фази. Термоліз. Лазерне випаровування. Плазмове осадження. Технології епітаксії. Молекулярно-променева епітаксія. Металорганічна CVD. Гетероепітаксія. Рідиннофазні методики. Методи шаблонного росту наноматеріалів. Впорядкування наносистем. Самозборка і самоорганізація.

**Тема 3.** Властивості індивідуальних наночастинок. Квантово-розмірні ефекти. Металічні нанокластери. Магічні числа. Геометрична структура. Електронна структура. Реакційна здатність. Магнітні кластери. Перехід від макро- до нано-. Напівпровідникові наночастинок. Оптичні властивості. Фотофрагментація. Кулонівський вибух. Кластери атомів газів і молекулярні кластери.