

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Інститут високих технологій

Кафедра нанофізики конденсованих середовищ



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Наноматеріали та структури на їх основі**

*(повна назва дисципліни)*

**для студентів**

галузь знань	16 «Хімічна та біоінженерія» <i>(шифр і назва)</i>
спеціальність	<b>162 Біотехнології та біоінженерія</b> <i>(шифр і назва спеціальності)</i>
освітній рівень	<b>магістр</b> <i>(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)</i>
освітня програма	<b>Високі технології (біотехнологія)</b> <i>(назва освітньої програми)</i>
вид дисципліни	<u>вибіркова</u>

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2021/2022
Семестр	<b>3</b>
Кількість кредитів ECTS	<b>4.0</b>
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	залік

Викладач: Євтух Анатолій Антонович, професор кафедри нанофізики конденсованих середовищ

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

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

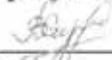
**КИЇВ – 2021**

Розробники:

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

ЗАТВЕРДЖЕНО:

Зав. кафедри нанофізики конденсованих середовищ

  
\_\_\_\_\_ Валерій СКРИШЕВСЬКИЙ  
(підпис)

Протокол № 8 від «26» лютого 2021 р.

Схвалено науково - методичною комісією  
Інституту високих технологій  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Протокол від «<sup>05</sup>» березня 2021 року № 3

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_  Наталя РУСІНЧУК

«<sup>05</sup>» \_\_\_\_\_ 2021 року

## 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 розвинути у студентів такі компетентності:*

K01. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

K02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

K08. Здатність здійснювати пошук необхідної інформації в науковій і технічній літературі, базах даних та інших джерелах.

K13. Здатність розробляти та вдосконалювати комплексні біотехнології на основі розуміння наукових сучасних фактів, концепцій, теорій, принципів і методів біоінженерії та природничих наук.

K14. Здатність прогнозувати напрямки розвитку сучасної біотехнології в контексті загального розвитку науки і техніки.

K20. Здатність презентувати та обговорювати результати наукових і прикладних досліджень, готувати наукові публікації, брати участь у наукових конференціях та інших заходах.

K23. Здатність розробляти/застосовувати комбіновані біотехнології за допомогою міждисциплінарних підходів, зокрема, з використанням технологій матеріалознавства та хімічних технологій.

### 5. Результати навчання за дисципліною:

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	15%
1.2	Фізичні основи роботи напівпровідникових приладів	Лекція	Модульна контрольна робота	15%
1.3	Електронні процеси, що протікають в наноструктурах під дією освітлення та електричного поля	Лекція	Модульна контрольна робота	15%
1.4	Основні параметри наноелектронних приладів	Лекція	Модульна контрольна робота	15%
2.1	Пояснити залежність властивостей матеріалів від розмірів	Лекція, лабораторні роботи	Звіти лабораторних робіт	40%
2.2	Пояснити принцип роботи приладів напівпровідникової електроніки	Лекція, лабораторні роботи		
2.3	Пояснити особливості роботи приладів на основі наноструктур, оцінювати величини ефектів, та пояснювати результати експериментів	Лекція, лабораторні роботи		

### 6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3
<b>Програмні результати навчання</b>							
<b>ПРО8.</b> Планувати та управляти науково-дослідними, науково-технічними та/або виробничими проектами у галузі біотехнології, базуючись на сучасних тенденціях розвитку науки, техніки та суспільства.					+	+	+
<b>ПР11.</b> Вільно спілкуватися усно і письмово державною та іноземною мовами, обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, інновації та/або управління виробництвом і біотехнології.					+	+	+
<b>ПР 18</b> Знаходити необхідну інформацію у науковій та довідниковій літературі, електронних базах, інших джерелах інформації, оцінювати її релевантність та достовірність.	+	+		+		+	+
<b>ПР 19</b> Оцінювати актуальність досліджуваних наукових проблем, придатність відомих наукових методів для їх дослідження на основі аналізу наявних даних та публікацій у провідних виданнях.			+		+	+	
<b>ПР 25</b> Застосовувати сучасні технології матеріалознавства та хімічні технології для розробки/використання новітніх комбінованих біотехнологій.			+	+		+	+

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

**- семестрове оцінювання:**

1. Модульні контрольні роботи (3 роботи): 20 балів/12 балів.

2. Лабораторні роботи: 40 бали/24 бали

Усього: 100 балів/60 балів

**- підсумкове оцінювання:** відсутнє.

<b>Оцінювання</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
Семестрове оцінювання	60	100
<b>Всього</b>	60	100

### 7.2 Організація оцінювання:

Упродовж семестру, після завершення відповідних тем, проводиться письмова контрольна робота. Протягом семестру студенти працюють в аудиторії. Протягом семестру студенти мають виконати, підготувати звіт та усно захистити лабораторні роботи.

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

### 7.3 Шкала відповідності оцінок

<b>Зараховано / Passed</b>	60-100
<b>Не зараховано / Fail</b>	0-59

**8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і 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. Чому нано?</b> 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 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.	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. <u>Основи фізики напівпровідників.</u></b> Що таке напівпровідник? Легування. Ефективна маса. Перенесення, рухливість носіїв і електрична провідність. Оптичні властивості напівпровідників. Екситони. Р-n-перехід. Фонони. Типи напівпровідників.	1		2
7	<b>Тема 7. <u>Квантові ями, дроти і точки.</u></b> Ефекти, обумовлені розмірами і розмірністю нанооб'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 електроні 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</b> <u>Наномашини і наноприлади.</u> 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.</b> <u>Самозборка і каталіз.</u> Процес само зборки. Напівпровідникові острівці. Моношари. Природа каталізу. Площа поверхні наночастинок. Пористі матеріали. Стовпчаті глини. Колоїди.	2		2
13	<b>Тема 13.</b> <u>М'які молекулярні матеріали.</u> Будівельні блоки. Синтетичні. Біологічні. Принципи само зборки. Самозборка як метод отримання і структурування наночастинок. Наночастки одержувані при міцелярній і везикулярній полімеризації. Рідкокристалічні нанокліпці. Наноструктури, отримувані за шаблоном. Рідкокристалічні мезофази. Міцели і везикули. Ламелярна фаза. Рідкі кристали.	2		
14	<b>Тема 14.</b> <u>Біонанотехнології.</u> 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>

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

Лекцій – **24 год.**

Практичні заняття - **16 год.**

Самостійна робота - **80 год.**

### **9. Рекомендовані джерела:**

**Основна(Базова):**

1. Келсалл Р., Хамли А., Геоген М. Научные основы нанотехнологий и новые приборы. Интеллект, 2011

2. Пул Ч., Оуэнс Ф. Мир материалов и технологий. Нанотехнологии.- Москва, «Техносфера», 2005

3. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники.- Новосибирск, 2000

4. Sze S.M., Ng Kwong K. Physics of semiconductor devices.- Wiley-Interscience, 2007

5. Sze S.M. Modern semiconductor device physics.- 1998



6. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике. Под ред. Асеева А.Л.- Новосибирск, Из-во сибирского отделения РАН, 2004
7. Нанотехнологии в электронике. Под ред. Чаплыгина Ю.А.- Москва, «Техносфера», 2005
8. Зи С. Физика полупроводниковых приборов.- М., «Мир», 1984, Т.1, Т2.
9. Кравченко А.Ф., Овсяк В.Н. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности.- Новосибирск, 2000.
10. Зи С. Технология СБИС.- М., «Мир», 1986, Т.1, Т.2.
11. Прохоров Е.Д. Твердотільна електроніка. – Підручник, Харківський нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2007

***Додаткова :***

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

***Интернет ресурси:***

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