

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Навчально науковий інститут високих технологій

Кафедра нанофізики конденсованих середовищ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Заступник директора  
з науково-педагогічної роботи  
Галина ГРАБЧУК  
« 21 » 05 ТЕХНОЛОГІЙ 2022 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### НАНОМАТЕРІАЛИ ТА СТРУКТУРИ НА ЇХ ОСНОВІ

для студентів

галузь знань 10 Природничі науки  
(шифр і назва)  
спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали  
(шифр і назва спеціальності)  
освітній рівень магістр  
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)  
освітня програма Високі технології (прикладна фізика та наноматеріали)  
(назва освітньої програми)

вид дисципліни вибіркова

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2022/2023
Семестр	3
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

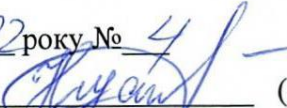
Зав. кафедри нанофізики конденсованих середовищ

  
\_\_\_\_\_ Валерій СКРИШЕВСЬКИЙ

Протокол № 5 від «19» 04 2022р.

Схвалено науково - методичною комісією Інституту високих технологій

---

Протокол від «13» 05 2022 року № 4  
Голова науково-методичної комісії  (Наталія РУСІНЧУК)

«13» 05 2022 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.

Навчальні цілі дисципліни спрямовані на досягнення таких загальних та фахових компетентностей:

ЗК 1 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 3 Здатність спілкуватися іноземною мовою.

ЗК 6 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

ЗК 7 Здатність працювати в команді.

ЗК 8 Навички міжособистісної взаємодії.

ЗК 10 Навики здійснення безпечної діяльності.

ЗК 11 Здатність до подальшого навчання, яке значною мірою є автономним та самостійним

ЗК 13 Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми, що потребує оновлення та інтеграції знань, часто в умовах неповної/недостатньої інформації та суперечливих вимог.

ЗК 14 Здатність зрозуміло і недвозначно доносити власні висновки, а також знання та пояснення, що їх обґрунтовують, до фахівців і нефахівців, зокрема до осіб, які навчаються.

ЗК 15 Здатність до прийняття рішень у складних і непередбачуваних умовах, що потребує застосування нових підходів та прогнозування.

ЗК 17 Володіння спеціалізованими концептуальними знаннями, набутими у процесі навчання та/або професійної діяльності на рівні новітніх досягнень, які є основою для оригінального мислення та інноваційної діяльності, зокрема в контексті дослідницької роботи.

ЗК 18 Здатність провадження дослідницької та інноваційної діяльності на відповідному рівні.

ЗК 19 Здатність нести відповідальність за розвиток професійного знання і практик, оцінку стратегічного розвитку команди.

- ФК 2 Здатність оптимально визначити матеріальні засоби, необхідні для проведення наукового дослідження або науково-технічної розробки (матеріали, апаратура, обладнання, обчислювальна техніка та інше).
- ФК 3 Здатність аналізувати отримані результати, презентувати їх фахівцям у даній галузі, оформлювати наукові статті та науково-технічні звіти.
- ФК 5 Здатність використовувати прикладне програмне забезпечення у проектуванні електронної техніки.
- ФК 6 Здатність встановлювати області застосування виробів електронної техніки.
- ФК 7 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу, критичного осмислення проблем у професійній діяльності та на межі предметних галузей
- ФК 9 Здатність відслідковувати найновіші досягнення в області прикладної фізики та високих технологій, вивчаючи наукову літературу та взаємодіючи спілкуючись із колегами.
- ФК 10 Здатність відповідно до поставленої задачі проводити самостійно та в команді наукові дослідження фізичних систем, явищ і процесів (експериментальні, теоретичні, комп'ютерне моделювання) в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

### 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	Знати основні типи та фізичні властивості наноматеріалів і структур, фізичні основи роботи напівпровідникових приладів. Розуміти електронні процеси, що протікають в наноструктурах під дією освітлення та електричного поля. Прогнозувати вплив умов функціонування пристроїв на основі наноструктур пристроїв на електронні процеси та їх параметри.	лекції	Письмова контрольна робота  Теоретичні запитання на Іспиті	20%  40%
2.1	Вміти пояснити залежність властивостей матеріалів від розмірів, принцип роботи приладів напівпровідникової електроніки, особливості роботи приладів на основі наноструктур, оцінювати величини ефектів, та пояснювати результати експериментів. Вміти визначати та вимірювати фізичні параметри напівпровідникових структур, проводити оцінку впливу умов вимірювання, аналізувати вплив матеріалів структур і особливостей технологічних процесів на їх властивості.	Лабораторні роботи	Звіти по лабораторних роботах	20%
4.1	Користуватися навчальною та довідковою літературою. Прийняти і обґрунтувати рішення щодо оцінки властивостей нано матеріалів та наноструктур, параметрів пристроїв наноелектроніки в залежності від умов їх функціонування. Робити якісні, науково - обґрунтовані висновки та надавати рекомендації щодо	Лекції, лабораторні роботи, самостійна робота студента	Письмова контрольна робота	20%

	впровадження оптимальних рішень у своїй практичній діяльності.			
--	---	--	--	--

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

<b>Програмні результати навчання</b>	<b>Результати навчання дисципліни</b>		
	<b>1.1</b>	<b>2.1</b>	<b>4.1</b>
<i>ПРН 1 Володіти поглибленим рівнем знань у прикладній фізиці, наноматеріалознавстві, високих технологіях та споріднених областях, включаючи методики проведення експериментів і технології отримання наноматеріалів, рівень цих знань повинен бути достатнім для проведення наукових досліджень на рівні останніх світових досягнень і направленим на їх розширення та поглиблення.</i>	+	+	+
<i>ПРН 3 Знаходити та аналізувати наукову та науковотехнічну інформацію в галузі прикладної фізики та наноматеріалів із вітчизняних та зарубіжних джерел, в тому числі з використанням сучасних пошукових систем</i>	+	+	+
<i>ПРН 8 Коректно формулювати професійні висновки, апробувати їх та доносити до аудиторії різного фахового рівня, використовуючи сучасні методики наукової та технічної комунікації українською та іноземними мовами</i>	+	+	+

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

#### семестрове оцінювання:

1. Контрольні роботи: РН 1.1 - 40 балів/24 балів.
2. Звіти по лабораторних роботах: РН 2.1. - 20 балів/12 балів.
- Усього: 60 балів/36 балів.

#### - підсумкове оцінювання:

3. Екзамен: РН 4.1 - 40 балів/24 балів.

Письмовий екзамен: теоретичні запитання (30 балів/20 балів, оцінюють РН 1.1, РН 2.1), практичні завдання (10 балів/5 балів, оцінюють РН 4.1);

- Максимальна кількість балів які можуть бути отримані студентом - 40 балів;
- 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 20 балів (рекомендований мінімум 36 балів).
- Студент допускається до екзамену за умови виконання всіх передбачених планом лабораторних робіт.

Оцінювання	Min	Max
Семестрове оцінювання	30	60
Підсумкове оцінювання	30	40
<b>Всього</b>	<b>60</b>	<b>100</b>

### 7.2 Організація оцінювання:

У кінці змістовних модулів після завершення вивчення тем проводяться письмові контрольні роботи. Контрольні роботи спрямована на визначення рівня знань студентами матеріалів лекцій за весь семестр.

Протягом семестру студенти виконують лабораторні роботи, за результатами чого готують письмові та усні звіти.

Протягом семестру студенти працюють над виконанням самостійної роботи, необхідні знання та навички для виконання якої отримують під час лекційних та лабораторних занять. Результатом виконання семестрового завдання є письмовий звіт.

Для студентів, які упродовж семестру не досягли мінімального рубіжного рівня оцінки (30 балів), для одержання допуску до іспиту обов'язковим є виконання додаткових завдань.

### 7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

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

№ п/п	Назва теми*	Кількість годин		
		лекції	Лабораторні	Самостійна робота
<i>Змістовий модуль 1</i> <i>Наночастинки та наноструктуровані матеріали</i>				
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		10
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 методики. Методи шаблонного росту наноматеріалів. Впорядкування наносистем. Самозборка і самоорганізація.	2		10
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.	2		
5	<b>Тема 5. Об'ємні наноструктуровані матеріали.</b> Наноструктуровані багатошарові матеріали. Пористий кремній. Розупорядковані поверхневі структури. Наноструктуровані кристали. Наноструктуровані кристали для фотоніки.	2	4	

6	<b>Тема 6. Самозборка і каталіз.</b> Процес само зборки. Напівпровідникові острівці. Моношари. Природа каталізу. Площа поверхні наночастинок. Пористі матеріали. Стовпчаті глини. Колоїди.	2		
7	<b>Контрольна робота 1</b>			
<b>Змістовий модуль 2</b> <b>Напівпровідникові наноструктури</b>				
8	<b>Тема 7. Основи фізики напівпровідників.</b> Що таке напівпровідник? Легування. Ефективна маса. Перенесення, рухливість носіїв і електрична провідність. Оптичні властивості напівпровідників. Екситони. Р-п-перехід. Фонони. Типи напівпровідників.	2		10
9	<b>Тема 8. Квантові ями, дроти і точки.</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. Екситони.	2		10
10	<b>Тема 9. Напівпровідникові нанотехнології.</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	10
11	<b>Тема 10. Фізичні явища в напівпровідникових наноструктурах.</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. Характеризація напівпровідникових наноструктур. Оптичні і електричні дослідження. Структурні дослідження.	2	6	10



12	<b>Тема 11. Застосування напівпровідникових наноструктур.</b> Вплив нанотехнологій на традиційну електроніку. Інфрачервоні детектори. Інжекційні лазери. Квантові каскадні лазери. Лазери на квантових точках. Оптичні запам'ятовуючі пристрої. Енергонезалежна пам'ять. Прилади з плаваючим затвором. МДОН структури. Енергонезалежна нанокристалічна пам'ять.	2		10
13	<b>Тема 12 Наномашини і наноприлади.</b> Мікроелектромеханічні системи (MEMSs). Наноелектромеханічні системи (NEMSs). Виготовлення. Наноприлади і наномашини. Молекулярні і супрамолекулярні перемикачі.	2		10
14	<b>Контрольна робота 2</b>			
15	<b>ВСЬОГО</b>	24	16	80

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

Лекцій – **24 год.**

Лабораторні заняття - **16 год.**

Самостійна робота - **80 год.**

## **9. Рекомендовані джерела:**

### **Основна:**

1. Келсалл Р., Хамли А., Геоген М. Научные основы нанотехнологий и новые приборы. Интеллект, 2011, 527 С.
2. Пул Ч., Оуэнс Ф. Мир материалов и технологий. Нанотехнологии.- «Техносфера», 2005, 327 С.
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. A. 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. Наноелектроніка. 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:**

1. Литовченко В.Г., Євтух А.А., Лепіх Я.І., Горбанюк Т.І. Фізика та хімія напівпровідникових адсорбційних сенсорів.- Київ, «Наукова думка», 2021.
2. Лозовський В.З., Третяк О.В. Фізика напівпровідників. – Підручник, Київський національний університет імені Т. Шевченка, 2008, 337 С.
3. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников. Физматлит, 2002, 560 С.
4. Зи С. Технология СБИС.- «Мир», 1986, Т.1, Т.2

5. I. S. Bhatia, A. Raman and N. Lal. The Shift from Microelectronics to Nanoelectronics – A Review. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering Vol. 2, Issue 11, November 2013.

***Интернет ресурсы:***

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)