

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**  
**Навчально-науковий інститут високих технологій**

Кафедра нанофізики конденсованих середовищ



**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Заступник директора  
з навчальної роботи

Гребчук Г.П.

«24» травня 2022 року

## **РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **ТЕХНОЛОГІЇ НАНОЕЛЕКТРОНІКИ ТА НАНОМАТЕРІАЛИ**

для студентів

**галузь знань** 10 Природничі науки  
**спеціальність** 105 Прикладна фізика та наноматеріали  
**освітній рівень** бакалавр  
**освітня програма** Нанофізика та комп'ютерні технології  
**вид дисципліни** вибіркова

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2022/2023
Семестр	<b>8</b>
Кількість кредитів ECTS	<b>3.0</b>
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)

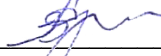
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

**КИЇВ – 2022**

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

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Зав. кафедри нанофізики конденсованих  
середовищ

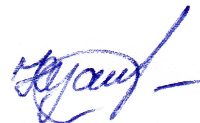
  
\_\_\_\_\_ Валерій Скришевський

Протокол № 5 від «19» квітня 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією інституту високих технологій

Протокол від «13» травня 2022 року № 4

Голова науково-методичної комісії



Русінчук Н. М.

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – є формування системних знань про технологічні процеси отримання, та важливі наноструктури, які використовуються при створенні функціональних пристроїв наноелектроніки. Опанування знаннями щодо особливостей структури енергетичних зон, протікання електронних та оптоелектронних процесів в напівпровідникових структурах. Надання знань з основ найважливіших сучасних перспективних напівпровідникових нанотехнологій. Курс «Технології наноелектроніки та наноматеріали» є важливою складовою фундаментальної підготовки студентів та формування їх фахових умінь.

### **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:**

Предметом навчальної дисципліни «Технології наноелектроніки та наноматеріали» є вивчення, дослідження та аналіз технологічних процесів та наноматеріалів для виготовлення пристроїв наноелектроніки. У курсі розглядаються вплив нанотехнологій на традиційну електроніку, ефекти нанометрового масштабу довжин, впорядкування та самоорганізація наносистем, вуглецеві наноструктури та технології їх отримання. Особлива увага приділяється напівпровідниковим нанотехнологіям. Аналізуються особливості нанотехнологій та вимоги до отримання ідеальних наноструктур.

### **4. Завдання (навчальні цілі):**

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

ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

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

ЗК 3 Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК 6 Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.

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

ЗК 9 Здатність працювати автономно.

ЗК 14 Здатність бути критичним і самокритичним.

ЗК 16 Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК 17 Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).

ФК1 Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів.

ФК2 Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.

ФК3 Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження.

ФК5 Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.

ФК6 Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.

- ФК8 Здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проєктах.
- ФК9 Здатність використовувати знання про фізичну природу об'єктів у роботах по створенню нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів і речовин, зокрема, наноматеріалів чи удосконалення існуючих.
- ФК10 Здатність реалізовувати автоматизацію експериментальних досліджень у різних сферах науки із використанням сучасних комп'ютерних технологій.
- ФК11 Здатність використовувати комп'ютерні технології при проектуванні, розробці та діагностиці електронного обладнання.

### 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 технологічні процеси виготовлення пристроїв наноелектроніки. Розуміти особливості зміни фізичних властивостей напівпровідникових мікро- та наноматеріалів при переході до нанорозмірів. Прогнозувати вплив режимів технологічних процесів на властивості наноматеріалів та наноструктуру	лекції	Письмова контрольна робота  Теоретичні запитання на Іспиті	20%  40%
2.1	Вміти визначати та задавати параметри технологічних процесів для отримання наноматеріалів та структур з заданими фізичними властивостями. Вміти скласти технологічний маршрут виготовлення напівпровідникових наноструктур та розраховувати їх параметри.	Семінарські заняття	Звіти по семінарським заняттям	20%
4.1	Користуватися навчальною та довідковою літературою. Прийняти і обґрунтувати рішення щодо оцінки параметрів технологічних процесів при створенні пристроїв. Робити якісні, науково - обґрунтовані висновки та надавати рекомендації щодо впровадження оптимальних рішень у своїй практичній діяльності.	Лекції, семінарські заняття, самостійна робота студента	Письмовий звіт з семестрової роботи	20%

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

Програмні результати навчання	Результати навчання дисципліни		
	1.1	2.1	4.1
ПРН 1 Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.		+	+
ПРН 2 Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.	+	+	+

ПРН 4 Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.		+	
ПРН 6 Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.			+
ПРН 7 Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики		+	+
ПРН 8 Вільно спілкуватися з професійних питань державною та англійською мовами усно та письмово.			+
ПРН 9 Презентувати результати досліджень і розробок фахівцям і нефахівцям, аргументувати власну позицію.		+	+
ПРН 12 Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.			+
ПРН 13 Оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов'язані з реалізацією проектів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проектів.		+	+
<i>ПРН 16 Оцінювати важливість матеріалів для досягнення цілей наукового дослідження в галузі прикладної фізики зі спеціалізацією в сфері нанофізики.</i>	+	+	+
ПР19 Вибірковий блок 2: На основі отриманих знань проектувати та створювати автоматизовані експериментальні установки для проведення досліджень в природничих науках.		+	+
ПР20 Вибірковий блок 2: Обслуговувати, діагностувати та удосконалювати існуючі експериментальні установки, що використовуються для різних потреб в галузі фізики, хімії та біології.		+	+

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

#### семестрове оцінювання:

1. *Контрольні роботи: РН 1.1 - 40 балів/24 балів.*

2. *Звіти по семінарським заняттям: РН 2.1. - 20 балів/12 балів.*

*Усього: 60 балів/36 балів.*

#### - підсумкове оцінювання:

3. *Залік: РН 4.1 - 40 балів/24 балів.*

*Письмовий залік: 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 відвідування передбачених планом семінарських занять.*

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 відвідують семінарські заняття, 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 семінарських 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

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

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

№ п/п	Назва теми*	Кількість годин		
		лекції	Семінарські	Самостійна робота
<b>Змістовий модуль 1</b> <i>Нанотехнології та наноматеріали</i>				
1	<b>Тема 1.</b> <i>Наноелектроніка. Тенденції розвитку. Вплив нанотехнологій на традиційну електроніку</i>	2		
2	<b>Тема 2.</b> <i>Мікро- та наноструктури. Основні електронні властивості атомів, наночастинок та вердих тіл</i>	2		
3	<b>Тема 3.</b> <i>Ефекти нанометрового масштабу довжин</i>	2		10
4	<b>Тема 4.</b> <i>Нанотехнології. Процеси зверху-вниз. Нанолітографія.</i>	2	2	
5	<b>Тема 5.</b> <i>Нанотехнології. Процеси знизу-вгору. Плазмове осадження. Технології епітаксії. МПЕ і МОГФЕ. Рідиннофазні методи</i>	2	2	10
6	<b>Тема 6.</b> <i>Впорядкування та самоорганізація наносистем.</i>	2	2	10
7	<b>Контрольна робота 1</b>			
<b>Змістовий модуль 2</b> <i>Напівпровідникові наноструктури та нанотехнології</i>				
8	<b>Тема 7.</b> <i>Напівпровідникові нанотехнології</i>	2	2	10
9	<b>Тема 8.</b> <i>Наноструктуровані поверхні.</i>	2		10
10	<b>Тема 9.</b> <i>Напівпровідникові нанодропи та технології їх отримання</i>	2	2	
11	<b>Тема 10.</b> <i>Вуглецеві наноструктури та технології їх отримання</i>	2		10
12	<b>Контрольна робота 2</b>			
13	<b>ВСЬОГО</b>	20	10	60

**Загальний обсяг 90 год.**, в тому числі:

Лекцій – **20 год.**

Семінарські заняття - **10 год.**

Консультації – **4 год.**

Самостійна робота - **60 год.**

## 9. Рекомендовані джерела:

### Основна:

- 1.S.M. Sze. Semiconductor Devices. Physics and Technology. John Wiley & Sons, Inc 2002.
2. Y. Dahman. Nanotechnology and Functional Materials for Engineers. Elsevier Science, 2017.
3. Пул Ч., Оуэнс Ф. Мир материалов и технологий. Нанотехнологии.- «Техносфера», 2005, 327 С.
4. Нанотехнологии в электронике. Под ред. Чаплыгина Ю.А.- «Техносфера», 2005, 446 С.
5. Литовченко В.Г., Євтух А.А., Лепіх Я.І., Горбанюк Т.І. Фізика та хімія напівпровідникових адсорбційних сенсорів.- Київ, «Наукова думка», 2021.



6. M. Benelmekki, Nanostructured Thin Films. Fundamentals and Applications. Elsevier. 2019.
7. Zhuiykov S. Nanostructured semiconductors.- Elsevier, 2018.
8. Tiwari A., Uzum L. Advanced in functional materials.- Wiley,2015.
9. McGuire G.E. Characterization of Semiconductor materials.- Noyes Publications, 1989
10. Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology. Ed. H. Nalwa, Academic Press, 1999.

***Додаткова:***

1. G. Pandey, D. Rawtani and Y.K. Agrawal. Aspects of Nanoelectronics in Materials Development. InTech, 2016, p. 23-39.
2. 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
3. V. V. Mitin, V.A. Kochelap, M.A. Stroscio. Introduction to Nanoelectronics: Science, Nanotechnology, Engineering, and Applications. - Cambridge. University Press, 2008, 329 P.
4. Прохоров Е.Д. Твердотільна електроніка. – Підручник, Харківський нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2007, 542 С.
5. Лозовський В.З., Третяк О.В. Фізика напівпровідників. – Підручник, Київський націон. ун-т ім. Т. Шевченка, 2008, 337 С.
6. Sze S.M., Ng Kwong K. Physics of semiconductor devices.- Wiley-Interscience, 2007, 800

***Інтернет ресурси:***

1. <http://science.howstuffworks.com/nanotechnology3.html>.
2. <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/7885>
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)