

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

Кафедра нанofізики конденсованих середовищ

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Заступник директора  
з навчальної роботи

Гребчук Г.П.

«24» травня 2022 року



## **РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **СТРУКТУРНІ ТА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ НАНОСТРУКТУР**

для студентів

<b>галузь знань</b>	10 Природничі науки	
<b>спеціальність</b>	105 Прикладна фізика та наноматеріали	
<b>освітній рівень</b>	бакалавр	
<b>освітня програма</b>	Нанofізика та комп'ютерні технології	
<b>вид дисципліни</b>	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	іспит

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

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

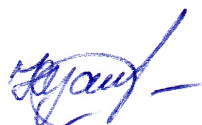
 Валерій Скришевський

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 структурні та електрофізичні характеристики напівпровідникових наноматеріалів та структур, методи їх контролю та особливості протікання в них електронних процесів, які є основою для створення новітніх пристроїв наноелектроніки. Опанування знаннями щодо технологій отримання, методів контролю, особливостей структури енергетичних зон, механізмів електронного транспорту в напівпровідникових структурах. Надання знань з основ фізичних процесів в ряді перспективних напівпровідникових наноструктур: резонансно-тунельних діодах, структурах на основі польового ефекту, квантових каскадних лазерах, одноелектронних транзисторах. Курс «Структурні та електрофізичні характеристики напівпровідникових наноструктур» 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 «Структурні та електрофізичні характеристики напівпровідникових наноструктур» є вивчення, дослідження та аналіз структурних та електрофізичних характеристик напівпровідникових наноструктур, які є основою сучасних та перспективних пристроїв наноелектроніки. У курсі розглядаються особливості електронного енергетичного спектру, технології виготовлення, методи контролю структури та електрофізичних характеристик, квантові обмеження в напівпровідникових наноструктурах, електронні та електрооптичні процеси, які в них протікають. Особлива увага приділяється аналізу електронних процесів в ряді важливих напівпровідникових наноструктур: резонансно-тунельних діодах, структурах на основі польового ефекту, квантових каскадних лазерах, одноелектронних транзисторах.

### **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.

- 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.
- 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 структурні та електрофізичні характеристики напівпровідникових наноматеріалів та наноструктур і методи їх контролю. Розуміти особливості протікання електронних процесів в напівпровідникових наноструктурах та вплив квантового обмеження на структуру енергетичних зон і процеси електронного транспорту. Прогнозувати вплив розмірів наноструктур та структури енергетичних зон на їх електрофізичні властивості.	лекції	Письмова контрольна робота  Теоретичні запитання на Іспиті	20%  40%
2.1	Вміти аналізувати результати вимірювання та визначати структурні та електрофізичні характеристики напівпровідникових наноматеріалів та структур. Вміти оцінити необхідні зміни в структурі матеріалів та систем для отримання заданих електрофізичних характеристик.	Семінарські заняття	Звіти по семінарським заняттям	20%
4.1	Користуватися навчальною та довідковою літературою. Прийняти і обґрунтувати рішення щодо оцінки структурних та електрофізичних характеристик наноматеріалів та наноструктур. 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 вибірових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)

<b>Результати навчання дисципліни</b>	<b>1.1</b>	<b>2.1</b>	<b>4.1</b>
<b>Програмні результати навчання</b>			
ПРН 1 Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.	+	+	+
ПРН04 Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.	+	+	
ПРН05 Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.		+	+
ПРН06 Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.			+
ПРН08 Вільно спілкуватися з професійних питань державною та англійською мовами усно та письмово.		+	+
ПРН10 Планувати й організувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проєктів.		+	+
ПРН11 Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні.			
ПРН 16 Оцінювати важливість матеріалів для досягнення цілей наукового дослідження в галузі прикладної фізики зі спеціалізацією в сфері нанофізики.	+	+	+
ПР 19 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 / Excellent</b>	90-100
<b>Добре / Good</b>	75-89
<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Незадовільно / Fail</b>	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>Структурні та електрофізичні характеристики напівпровідникових матеріалів</i>				
1	<b>Тема 1.</b> <i>Напівпровідникові наноматеріали. Особливості електронного енергетичного спектру.</i>	2		
2	<b>Тема 2.</b> <i>Технології виготовлення напівпровідникових наноматеріалів та наноструктур.</i>	2		
3	<b>Тема 3.</b> <i>Методи дослідження структури напівпровідникових наноматеріалів.</i>	2		10
4	<b>Тема 4.</b> <i>Методи дослідження електрофізичних характеристик напівпровідникових наноматеріалів.</i>	2	2	10
5	<b>Тема 5.</b> <i>Квантові обмеження в напівпровідникових наноструктурах. Густина електронних станів.</i>	2	2	10
6	<b>Контрольна робота 1</b>			
<b>Змістовий модуль 2</b>				
<i>Електрофізичні характеристики напівпровідникових наноструктур</i>				
7	<b>Тема 6.</b> <i>Фізичні процеси в напівпровідникових наноструктурах</i>	2	2	10
8	<b>Тема 7.</b> <i>Резонансно-тунельні діоди. Електронні процеси та їх характеристики.</i>	2		10
9	<b>Тема 8.</b> <i>Польовий ефект в напівпровідникових наноструктурах. НЕМТ транзистори.</i>	2	2	
10	<b>Тема 9.</b> <i>Електрооптичні процеси в напівпровідникових наноструктурах та їх характеристики. Квантові каскадні лазери.</i>	2	2	10
11	<b>Тема 10.</b> <i>Електрофізичні характеристики одноелектронних напівпровідникових наноструктур.</i>	2		
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. Келсалл Р., Хамли А., Геоген М. Научные основы нанотехнологий и новые приборы. Интеллект, 2011, 527 С.
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. Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology. Ed. H. Nalwa, Academic Press, 1999.
5. S. Zhuiykov. Nanostructured Semiconductors. Elsevier. 2018.
6. M. Benelmekki, Nanostructured Thin Films. Fundamentals and Applications. Elsevier. 2019.
7. Зи С. Физика полупроводниковых приборов.- «Мир», 1984, Т.1, Т2.
8. Sze S.M., Ng Kwong K. Physics of semiconductor devices.- Wiley-Interscience, 2007, 800 P.
9. Sze S.M. Modern semiconductor device physics.- Wiley-Interscience, 1998, 547 P.
10. 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
11. V. V. Mitin, V.A. Kochelap, M.A. Stroscio. Introduction to Nanoelectronics: Science, Nanotechnology, Engineering, and Applications. - Cambridge. University Press, 2008, 329 P.
12. G. Pandey, D. Rawtani and Y.K. Agrawal. Aspects of Nanoelectronics in Materials Development. InTech, 2016, p. 23-39.
13. Прохоров Е.Д. Твердотільна електроніка. – Підручник, Харківський нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2007, 542 С.
14. Зи С. Технология СБИС.- М., «Мир», 1986, Т.1, Т.2

***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 націон. ун-т ім. Т. Шевченка, 2008, 337 С.
3. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников. Физматлит, 2002, 560 С.
4. Zhuiykov S. Nanostructured semiconductors.- Elsevier, 2018.
5. Benelmekki M., Elbe A. Nanostructured thin films. Fundamentals and applications.- Elsevier, 2019.
6. Tiwari A., Uzum L. Advanced in functional materials.- Wiley, 2015.
7. McGuire G.E. Characterization of Semiconductor materials.- Noyes Publications, 1989.

***Интернет ресурси:***

1. <http://science.howstuffworks.com/nanotechnology3.html>.
2. <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/7885>
3. [https://www.mdpi.com/journal/nanomaterials/special\\_issues/Nano\\_Biology](https://www.mdpi.com/journal/nanomaterials/special_issues/Nano_Biology)
4. <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/nanomaterial>
5. [https://www.esearchgate.net/publication/226922842\\_Nanomaterials\\_Nanoparticles\\_and\\_Nanostructures](https://www.esearchgate.net/publication/226922842_Nanomaterials_Nanoparticles_and_Nanostructures)
6. [https://nanohub.org/resources/22260/download/NACK\\_U3\\_Maeder\\_Nanoparticles\\_Nanostructures.pdf](https://nanohub.org/resources/22260/download/NACK_U3_Maeder_Nanoparticles_Nanostructures.pdf)