

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Інститут високих технологій

Кафедра нанофізики конденсованих середовищ



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник директора
з навчальної роботи

Грабчук Г.П.

«24» травня 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ МІКРО- ТА НАНОЕЛЕКТРОНІКИ

для студентів

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

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2022/2023
Семестр	7
Кількість кредитів ECTS	4.0
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладач: Євтух Анатолій Антонович, доктор фізико-математичних наук, 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 – 2022

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри нанофізики конденсованих
середовищ

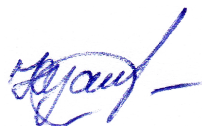
 Валерій Скришевський

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 фізичні основи мікро- та наноелектроніки, фізичні процеси, які протікають при функціонуванні електронних пристроїв та їх особливості при переході до нанорозмірних структур. Опанування знаннями щодо електронних та оптоелектронних процесів в напівпровідникових структурах та їх використання для реалізації мікро- та наноелектронних приладів. Надання знань з фізики роботи ряду важливих сучасних та перспективних мікро- та наноелектронних пристроїв. Курс «Фізичні основи мікро- та наноелектроніки» 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 «Фізичні основи мікро- та наноелектроніки» є вивчення, дослідження та аналіз фізичних процесів, які лежать в основі функціонування сучасних електронних пристроїв. У курсі розглядаються основні електронні властивості твердих тіл та їх особливості при переході до нанорозмірних структур, явища електронного транспорту, вплив нанотехнологій на традиційну електроніку, квантові обмеження та протікання електронних і оптоелектронних процесів в напівпровідникових наноструктурах. Аналізуються електронні процеси, які лежать в основі роботи ряду важливих пристроїв мікро- та наноелектроніки: МДН транзистори, КМОН технологія, елементи енергонезалежної пам'яті, прилади на квантових ефектах та гарячих електронах, квантові каскадні лазери, резонансно-тунельні діоди та одноелектронні транзистори.

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.

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

ФК7 Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

ФК8 Здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проектах.

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.

ФК12 Вибірковий блок 1 Здатність розробляти, діагностувати та використовувати пристрої електроніки в сучасній науці.

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 фізичні властивості напівпровідникових мікро- та наноматеріалів і структур. Розуміти фізику електронних процесів, що протікають в пристроях мікро- та наноелектроніки. Прогнозувати вплив умов функціонування електронних пристроїв на електронні процеси та їх параметри.	лекції	Письмова контрольна робота Теоретичні запитання на Іспиті	20% 40%
2.1	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 параметрів пристроїв мікро- та наноелектроніки в залежності від умов їх функціонування. Робити якісні, науково - обґрунтовані висновки та надавати рекомендації щодо впровадження оптимальних рішень у своїй практичній діяльності.	Лекції, лабораторні роботи, 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)

Результати навчання дисципліни	1.1	2.1	4.1
Програмні результати навчання			
ПРН 1 Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.	+	+	+
ПРН 3 Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.		+	+
ПРН 14 Організувати результативну роботу індивідуально і як член команди.		+	+

<i>ПРН 16 Оцінювати важливість матеріалів для досягнення цілей наукового дослідження в галузі прикладної фізики зі спеціалізацією в сфері нанофізики.</i>	+	+	+
<i>ПРН 19 Вибірковий блок 1: На основі отриманих знань проектувати електронні прилади та програмне забезпечення для потреб нанотехнологій.</i>	+	+	+
<i>ПРН 20 Вибірковий блок 1: Діагностувати та удосконалювати існуючі електронні прилади та прикладні комп'ютерні програми, що використовуються в природничих науках.</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
Всього	60	100

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
Змістовий модуль 1 <i>Фізичні основи мікроелектроніки</i>				
1	Тема 1. Мікро- та наноелектроніка. Історія та етапи розвитку. Вплив нанотехнологій на традиційну електроніку	2		
2	Тема 2. Енергетичні зони та концентрація носіїв заряду у тепловій рівновазі	2		
3	Тема 3. Явища переносу носіїв заряду. Процеси дрейфу, дифузії, генерації та рекомбінації, тунелювання та високопольові ефекти.	2	4	10
4	Тема 4. МДН польові транзистори та супутні пристрої. МДН елементи пам'яті	2	4	
5	Тема 5. Мікрохвильові діоди, прилади на квантовому ефекті та гарячі електрони.	2		10
6	Тема 6. Інтегральні прилади. Пасивні компоненти. КМОН технологія.	2		10
7	Контрольна робота 1			
Змістовий модуль 2 <i>Фізичні основи наноелектроніки</i>				
8	Тема 7. Квантові обмеження в напівпровідникових наноструктурах. Каантові ями, дроти і точки.	2		10
9	Тема 8. Електронні енергетичні стани в наноструктурах.	2		10
10	Тема 9. Тунелювання через квантово-розмірні структури	2	2	
11	Тема 10. Особливості електронних процесів в низькорозмірних структурах.	2		80
12	Тема 11. Характеризація напівпровідникових наноструктур. Оптичні і електричні дослідження. Структурні дослідження	2	4	10
13	Тема 12. Фізичні явища в напівпровідникових наноструктурах	2		
14	Тема 13. Молекулярна електроніка. Матеріали, характеризація та пристрої. Сенсори на основі молекулярної електроніки.	2		10
15	Тема 14. Застосування наноструктур. Прилади наноелектроніки.	2		
16	Контрольна робота 2			
17	ВСЬОГО	28	14	78

Загальний обсяг 120 год., в тому числі:

Лекцій – 28 год.

Лабораторні заняття - 14 год.

Консультації – 4 год.
Самостійна робота - 78 год.

9. Рекомендовані джерела:

Основна:

1. Прохоров Е.Д. Твердотільна електроніка. – Підручник, Харківський нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2007, 542 С.
2. Лозовський В.З., Третьак О.В. Фізика напівпровідників. – Підручник, Київський націон. ун-т ім. Т. Шевченка, 2008, 337 С.
3. Зи С. Фізика полупроводникових приборов.- «Мир», 1984, Т.1, Т2.
4. Sze S.M., Ng Kwong K. Physics of semiconductor devices.- Wiley-Interscience, 2007, 800 P.
5. Sze S.M. Modern semiconductor device physics.- Wiley-Interscience, 1998, 547 P.
6. 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
7. V. V. Mitin, V.A. Kochelap, M.A. Stroschio. Introduction to Nanoelectronics: Science, Nanotechnology, Engineering, and Applications. - Cambridge. University Press, 2008, 329 P.
8. G. Pandey, D. Rawtani and Y.K. Agrawal. Aspects of Nanoelectronics in Materials Development. InTech, 2016, p. 23-39.
9. Келсалл Р., Хамли А., Геоген М. Научные основы нанотехнологий и новые приборы. Интеллект, 2011, 527 С.
10. Зи С. Технология СБИС.- М., «Мир», 1986, Т.1, Т.2
11. 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.

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. Пул Ч., Оуэнс Ф. Мир материалов и технологий. Нанотехнологии.- «Техносфера», 2005, 327 С.
3. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников. Физматлит, 2002, 560 С.
4. Zhuiykov S. Nanostructured semiconductors.- Elsevier, 2018.
5. Benellmekki 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.

Інтернет ресурси:

1. <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/7885>
2. 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
5. https://nanohub.org/resources/22260/download/NACK_U3_Maeder_Nanoparticles_Nanostructures.pdf