

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем  
Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**  
Заступник декана з навчальної роботи  
\_\_\_\_\_ Нечипорук О. Ю.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
Напівпровідникова електроніка наноструктур**

для студентів

галузь знань	<b>10 “Природничі науки”</b>
спеціальність	<b>105 "Прикладна фізика та наноматеріали"</b>
освітня програма	<b>“Електроніка та інформаційні технології в медицині”</b>
рівень вищої освіти	<b>бакалавр</b>
вид дисципліни	<b>вибіркова</b>
Форма навчання	<b>денна</b>
Навчальний рік	<b>2022-2023</b>
Семестр	<b>8</b>
Кількість кредитів ECTS	<b>3</b>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<b>українська</b>
Форма заключного контролю	<b>залік</b>

**Викладач:**

Кулик Сергій Петрович, кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КИЇВ – 2022**

**Розробник:**

Горячко Андрій Миколайович, доктор фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

**«ЗАТВЕРДЖЕНО»**

Завідувач кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки'

\_\_\_\_\_ Г. Ю. Карлаш

Протокол № \_\_ від « \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Протокол № \_\_ від « \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

Голова науково-методичної комісії

С. П. Радченко

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року.

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – ознайомлення студентів із основами сучасної напівпровідникової наноелектроніки, а саме базовими елементами, принциповими схемами та технологічними процесами виготовлення сучасних та перспективних наноелектронних схем.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

Навчальна дисципліна «Напівпровідникова електроніка наноструктур» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки бакалавра, а саме: “Загальна фізика”, “Фізика твердого тіла”, “Радіотехнічні кола і сигнали”, “Квантова механіка”.

Попередні вимоги:

1. студент повинен знати: основні закони, рівняння та співвідношення курсу загальної фізики, курсу фізики твердого тіла, курсу квантової механіки та теорії електричних кіл.

2. студент повинен вміти: будувати найпростіші лінійні фізичні моделі, читати, розуміти та будувати електричні схеми, розв’язувати найпростіші лінійні диференціальні рівняння та задачі на власні значення, записувати гамільтоніан частинки в заданому потенціалі.

3. студент повинен знати: основи теорії перехідних процесів в електричних колах, моделі базових активних та пасивних елементів електричних кіл та їхні основні параметри, основи фізичних явищ в конденсованому середовищі в мезоскопічному масштабі.

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

Дисципліна «Напівпровідникова електроніка наноструктур» є однією з ключових дисциплін циклу підготовки бакалаврів в галузі сучасної радіофізики, електроніки та комп’ютерних систем. Вона дає уявлення про фізичні принципи функціонування нанорозмірних базових елементів перспективних систем зберігання, передачі та обробки інформації, а також про їхню схемотехніку та основні процеси серійних нанотехнологій. Дана дисципліна має прикладне спрямування на сучасне високотехнологічне виробництво наноелектронних пристроїв в комерційному та оборонному секторах.

### **4. Завдання (навчальні цілі):**

1. Надати основні відомості з курсу «Напівпровідникова електроніка наноструктур», які складають важливу частину загально-наукової підготовки студента за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».

2. Надати основні знання з теорії елементарних процесів в напівпровідникових приладах в мезоскопічному масштабі на основі структур метал-напівпровідник, ізолятор-напівпровідник, гетероструктур, нанокристалів, аморфних наночастинок, дво-вимірних матеріалів, тощо.

3. Підготувати слухачів до вивчення спеціальних дисциплін в магістратурі, присвячених технологіям мікроелектроніки, наноелектроніки, цифрової мікросхемотехніки, електроніки НВЧ, твердотільної електроніки та квантової електроніки.

4. Підготувати слухачів до можливої практичної діяльності в ролі нанотехнологів, розробників та інженерів на дослідних підприємствах оборонного сектору та науково-дослідних інститутів України або у закордонних високотехнологічних компаніях.

Забезпечення досягнення компетентностей:

ЗК-4 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК-6 Здатність спілкуватися іноземною мовою.

ЗК-9 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК-10 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ФК-7 Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп’ютерних технологій.

ФК-8 Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.

ФК-9 Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

### **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			
<b>1</b>	студент повинен <b>знати</b> :	лекційні заняття з використанням комп'ютерних засобів візуалізації даних	письмові модульні контрольні роботи	до 45
1.1	Загальні основи фізики нанорозмірних напівпровідникових приладів			
1.2	Базові схемотехнічні рішення інтегральної наноелектроніки			
1.3	Основні фізичні процеси, що відбуваються при протіканні електричного струму через нанорозмірні транзистори			
1.4	Фізичні основи технологій виготовлення сучасних та перспективних наноелектронних схем			
1.5	Основні перехідні процеси в електричних колах комірок пам'яті та логічних ключів у нанорозмірному інтегральному виконанні			
1.6	Основні фізичні особливості, що виникають при переході від мікророзмірних до нанорозмірних базових елементів інтегральних електронних пристроїв			
<b>2</b>	студент повинен <b>вміти</b> :	лекційні заняття з використанням комп'ютерних засобів візуалізації даних	письмові модульні контрольні роботи	до 45
2.1	Будувати принципові електричні схеми комірок пам'яті та логічних ключів в прив'язці до нанотехнологічного процесу їхнього виготовлення			
2.2	Оцінювати максимальні граничні частоти коректного функціонування логічних ключів в прив'язці до нанотехнологічного процесу їхнього виготовлення			
2.3	Оцінювати максимальні граничні частоти коректного функціонування нанорозмірних комірок пам'яті різних типів та різного фізичного принципу дії			
<b>3</b>	<b>комунікація</b> :	лекційні заняття з використанням комп'ютерних засобів візуалізації даних	письмові модульні контрольні роботи	до 5
3.1	Здатність грамотно комунікувати результати розробки та очікувані робочі параметри перспективних наноелектронних приладів			
3.2	Здатність до командної роботи при розробці інтегральних наноелектронних схем			
<b>4</b>	<b>автономність та відповідальність</b> :	лекційні заняття з використанням комп'ютерних засобів візуалізації даних	письмові модульні контрольні роботи	до 5
4.1	Здатність до самостійного пошуку необхідної наукової літератури, описів пакетів програмного забезпечення для роботи в галузі наноелектронної схемотехніки			
4.2	Здатність до самостійної постановки та забезпечення виконання технічних завдань в галузі проектування наноелектронних приладів наступних поколінь			

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

які не входять до блоків спеціалізації

Результати навчання дисципліни	Код												
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1	4.2
<b>Програмні результати навчання (назва)</b>													
ПРН 1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.					+		+	+				+	
ПРН 2. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.	+		+				+	+				+	+
ПРН 7. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.	+				+				+			+	+

## 7. Схема формування оцінки

**7.1. Форми оцінювання студентів:** рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт. Внесок результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні:

- результати навчання 1.1 – 1.6 [знання] – до 45 %;
- результат навчання 2.1 – 2.3 [вміння] – до 45%;
- результат навчання 3.1-3.2 [комунікація] – до 5%;
- результат навчання 4.1-4.2 [автономність та відповідальність] – до 5%;

Форми оцінювання студентів:

**семестрове оцінювання:** контроль здійснюється за таким принципом.

1. Контрольна робота з тем 1-5 (письмово): РН 1.1-3, РН 2.1, РН 3.1, РН 4.1 – 30 балів.
2. Контрольна робота з тем 6-11 (письмово): РН 1.4-6, РН 2.2-3, РН 3.2, РН 4.2 – 30 балів.

**підсумкове оцінювання (у формі заліку):** форма заліку – письмово-усна. Всього за залік можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, при цьому, оцінка за залік не може бути меншою **24 балів**.

**умови допуску до підсумкового заліку:** умовою допуску до заліку є отримання студентом сумарно не менше, ніж *критично-розрахунковий мінімум* за семестр – **36 балів**.

**7.2. Організація оцінювання;** (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтованого графіку оцінювання):

*Оцінювання за формами контролю:*

Семестрова робота	Кількість балів	
	Min. – балів	Max. – балів
Модульна контрольна робота №1	18	30
Модульна контрольна робота №2	18	30

*Орієнтований графік оцінювання:*

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Модульна контрольна робота №1	березень
Модульна контрольна робота №2	травень
Залік	червень

*Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі заліку:*

Значення	Семестр	Залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	36	24	60
Максимум	60	40	100

## 7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
<b>Зараховано</b> / Accepted	90-100%
<b>Не зараховано</b> / Not Accepted	75-89%
	60-74%
	0-59%

## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

№ з/п	Назва теми	У тому числі - кількість годин		
		Лекції	Практичні, лабораторні	Самостійна робота
1	Вступ, предмет курсу та об'єкт вивчення. Матеріали напівпровідникової наелектроніки.	4	–	4
2	Нанорозмірний р-п перехід, його будова та основні властивості. Основні механізми транспорту носіїв заряду. Базові поняття про сучасні технології виготовлення нанорозмірних інтегральних схем.	4	–	4
3	Нанорозмірна структура метал-діелектрик-напівпровідник. Режими накопичення, збіднення та інверсії. Огляд технологій виготовлення нанорозмірного МДН стеку.	4	–	4
4	Польовий транзистор як основа сучасної інтегральної наелектроніки. Скейлінг польових транзисторів та інших елементів сучасних інтегральних схем, його фізичні обмеження та шляхи подолання.	4	–	4
5	Основні режими роботи нанорозмірного МДН-транзистора, розрахунок струму між стоком і виток. Різновиди нанорозмірних польових транзисторів.	4	–	4
6	Основні схемотехнічні принципи КМДН наелектроніки. Технології масового виробництва інтегральних наелектронних КМДН мікросхем.	4	–	6
7	Наносхемотехніка найважливіших типів елементарних логічних ключів: NOT, AND, OR, TG, NOR, NAND тощо.	4	–	4
8	Бістабільні наелектронні КМДН схеми, D-тригери, мультиплексори, дешифратори, суматори та інші складні логічні схеми.	4	–	6
9	Основні типи нанорозмірних комірок пам'яті: DRAM, SRAM, ROM, FLASH. Польові нанотранзистори із плаваючим затвором.	4	–	4
10	Закон Мура та відхилення від нього. Перспективні технології подальшого розвитку інтегральної наелектроніки.	4	–	4
11	Огляд наелектронних пристроїв спеціального призначення (нанофотонні, наноспінтронні пристрої, тощо)	2	–	4
<b>Всього</b>		<b>42</b>	<b>–</b>	<b>48</b>

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

Лекції                      **42** год.  
Самостійна робота    **48** год.

## **9. Рекомендовані літературні джерела:**

### **Основні джерела:**

1. B.K. Kaushik. Nanoscale Devices – Physics, Modeling, and Their Application. – Taylor & Francis Group, LLC, 2019. – 432 pp.
2. L.H. Madkour. Nanoelectronic Materials – Fundamentals and Applications. Springer Nature Switzerland AG, 2019. – 783 pp.
3. M.M. Hussain. Advanced Nanoelectronics – Post-Silicon Materials and Devices. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2019. – 272 pp.

### **Додаткові і джерела:**

1. S. Sze. Physics of Semiconductor Devices. – John Wiley & Sons, 2010. – 756 pp.
2. G.S. Shen, Y.-L. Chueh. Nanowire Electronics. – Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019. – 393 pp.
3. D.L. Pulfrey. Understanding Modern Transistors and Diodes. – Cambridge University Press, 2010. – 335 pp.