

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Навчально-науковий інститут високих технологій

Кафедра нанofізики конденсованих середовищ



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник директора  
з навчальної роботи

Грабчук Г.П.

«24» травня 2022 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### НАНОФІЗИКА ТА ТВЕРДОТІЛЬНА ЕЛЕКТРОНІКА

(повна назва робочої дисципліни)

для студентів

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</b>

Форма навчання	<b>денна</b>
Навчальний рік	<b>2023/2024</b>
Семестр	<b>7- 8</b>
Кількість кредитів ECTS	<b>7</b>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<b>українська</b>
Форма заключного контролю	<b>іспит</b>

#### Викладач:

Шкавро Анатолій Григорович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри нанofізики конденсованих середовищ

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


**Розробники:**

Шкавро Анатолій Григорович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри нанофізики конденсованих середовищ

Гаврильченко Ірина Валеріївна, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри нанофізики конденсованих середовищ

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Зав. кафедри нанофізики конденсованих середовищ

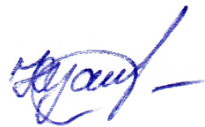
 Валерій Скришевський

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

Навчальна дисципліна «Нанофізика та твердотільна електроніка» є складовою освітньої програми підготовки фахівців за освітнім рівнем «бакалавр» галузі знань 10 «Природничі науки» зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» освітньої програми «Нанофізика та комп'ютерні технології».

Дана дисципліна входить у блок вільного вибору студента «Нанофізика та нанотехнології»

Викладається у 7 та 8 семестрі (4 року навчання) в обсязі 252 год. (7 кредитів ECTS) зокрема: лекції – 56 год., лабораторних – 32, семінарських 12, самостійна робота – 152 год. У курсі передбачено 4 змістових модулів. Дисципліна завершується іспитом (у 7 семестрі проміжний контроль).

**1. Мета дисципліни** – вивчення фізичних основ роботи основних елементів електроніки, ознайомлення з методами їх розробки та технології виготовлення, експлуатаційними характеристиками та застосуванням.

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

Навчальна дисципліна «Нанофізика та твердотільна електроніка» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки, зокрема, «Електродинаміка», «Диференціальні рівняння», «Математична фізика», «Радіоелектроніка», «Основи фізики конденсованих середовищ», «Оптичні та фотоелектричні явища конденсованих середовищ»

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

Навчальна дисципліна "Нанофізика та твердотільна електроніка" розглядає формування та електрофізичні характеристики структур метал-напівпровідник, напівпровідник-напівпровідник, метал-діелектрик-напівпровідник та напівпровідникових приладів на їх основі, інших напівпровідникових приладів, в тому числі приладів на основі наноструктур.

Матеріал дисципліни сприяє поглибленню знань отриманих в курсах радіоелектроніки, комп'ютерної техніки, автоматизації і є базовим для вивчення мікроелектроніки, оптоелектроніки, та інших спецкурсів.

Для формування практичних навичок дослідження приладів в навчальній дисципліні передбачено 2 цикли лабораторних робіт.

### **4. Завдання (навчальні цілі):**

*Навчання дисципліні має на меті розвинути у студентів такі загальні та фахові компетентності:*

ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК03. Здатність спілкуватися державною мовою якусно так і письмово.

ЗК06. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.

ЗК07. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК09 Здатність працювати автономно.

ЗК14 Здатність бути критичним і самокритичним.

ЗК16 Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК17 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.

- ФК4 Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок.
- 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.
- 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.
- ФК12-1 Вибірковий блок 1 Здатність розробляти, діагностувати та використовувати пристрої електроніки в сучасній науці.

## 5. Результати навчання за дисципліною:

### 1 семестр

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 (проміжний контроль)
Код	Результат навчання			
1.1	<i>Знати</i> класифікацію, номенклатуру, призначення та перелік основних параметрів приладів сучасної електроніки	Лекції, самостійна робота студентів.	контрольні роботи,	10
1.2	<i>Знати</i> Основні технології, особливості формування та конструкції приладів в залежності від їх призначення.	Лекції, самостійна робота студентів.	контрольні роботи,	15
1.3	<i>Знати</i> Основні фізичні моделі та теорії, що описують електрофізичні характеристики приладів, їх залежність від параметрів матеріалів та зовнішніх впливів.	Лекції, самостійна робота студентів.	контрольні роботи,	10
2.1	Будувати зонні діаграми структур напівпровідникової електроніки	лекційні заняття, консультації, практичні	контрольні роботи,	15
2.2	Розраховувати розподіл полів, потенціальної енергії, концентрацій носіїв, густини заряду та густини струму у приладах	лекційні заняття, консультації, практичні	контрольні роботи,	10
2.3	Розраховувати електрофізичні характеристики приладів з врахуванням особливостей структури, умов та режиму роботи	лекційні заняття, консультації, практичні	контрольні роботи,	15
3.1	здатність виділяти суть питання, формулювати лаконічну та вичерпну відповідь, чітко формулювати запитання, вести професійну дискусію.	лекційні заняття, консультації		15
4.1	Вміти самостійно працювати з науковою та навчально-методичною літературою, здійснювати пошук та узагальнення науково-технічної інформації.	Самостійна робота	письмові модульні контрольні роботи, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	10

## 2 семестр

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	<i>Знати</i> Еквівалентні схеми та залежність параметрів приладів від частоти, перехідні процеси та шумові властивості, методи їх дослідження.	Лекції, лабораторні роботи, самостійна робота студентів.	контрольні роботи, оцінювання виконання завдань	10
1.2	<i>Знати</i> Основи технології виготовлення структур з заданими електрофізичними характеристиками	Лекції, практичні, самостійна робота студентів.	контрольні роботи,	20
1.3	<i>Знати</i> Застосування дискретних приладів, сенсорів, тестових структур, та елементів інтегральних схем.	Лекції, практичні, самостійна робота студентів	контрольні роботи,	20
2.1	Вимірювати експлуатаційні характеристики приладів та за результатами вимірювань визначати особливості моделі та фізичні параметри структур	Лекції, лабораторні роботи, самостійна робота студентів.	Оцінювання знання методів, виконання та звітів лабораторних робіт	20
2.2	Користуватись довідниками та іншими джерелами для вибору приладів максимально придатних для вирішення конкретної задачі.	Практичні, лабораторні роботи, самостійна робота студентів.	Контрольні роботи, оцінювання звітів лабораторних робіт	10
3.1	здатність виділяти суть питання, формулювати лаконічну та вичерпну відповідь, чітко формулювати запитання, вести професійну дискусію.	лекційні заняття, консультації		10
4.1	Вміти самостійно працювати з науковою та навчально-методичною літературою, здійснювати пошук та узагальнення науково-технічної інформації.	Самостійна робота	письмові модульні контрольні роботи, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	10

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

**1 семестр**

Результати навчання дисципліни (код)								
Програмні Результати навчання (назва)	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	4.1
ПРН1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.	+			+	+	+	+	
ПРН4. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.		+	+		+	+		+
ПРН5. Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики		+		+	+		+	
ПРН 16. представляти і захищати отримані наукові і практичні результати в усній та письмовій формі.	+			+	+		+	+
ПРН 19 Вибірковий блок 1: На основі отриманих знань проектувати електронні прилади та програмне забезпечення для потреб нанотехнологій.	+			+	+		+	+
ПРН 20 Вибірковий блок 1: Діагностувати та удосконалювати існуючі електронні прилади та прикладні комп'ютерні програми, що використовуються в природничих науках.	+			+	+		+	+

**2 семестр**

Результати навчання дисципліни (код)								
Програмні Результати навчання (назва)	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	4.1
ПРН1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.	+			+	+	+	+	
ПРН 4 Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.		+	+		+	+		+
ПРН5 Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики		+		+	+		+	
ПРН16 представляти і захищати отримані наукові і практичні результати в усній та письмовій формі.	+			+	+		+	+
ПРН 19 Вибірковий блок 1: На основі отриманих знань проектувати електронні прилади та програмне забезпечення для потреб нанотехнологій.	+			+	+		+	+
ПРН 20 Вибірковий блок 1: Діагностувати та удосконалювати існуючі електронні прилади та прикладні комп'ютерні програми, що використовуються в природничих науках.	+			+	+		+	+

## 7. Схема формування оцінки

**7.1. Форми оцінювання студентів:** рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами поточної роботи на семінарських заняттях, за результатами виконання самостійних завдань та написання письмових контрольних робіт. Вклад результатів навчання у підсумковий бал, за умови їх опанування на належному рівні наступний:

- результати навчання 1.1 – 1.5 [знання] до 50%;
- результат навчання 2.1 – 2.5 [вміння] – до 35%;
- результат навчання 3.1 [комунікація] – до 5%;
- результат навчання 4.1 [автономність та відповідальність] – до 10%.

**семестрове оцінювання:** контроль здійснюється за таким принципом. Дисципліна викладається протягом двох семестрів, перший з яких завершується проміжним контролем.

Перший навчальний семестр має два змістові модулі: у змістовий модуль 1 (ЗМ1) входять теми 1-4, у змістовий модуль 2 (ЗМ2) входять теми 5-9. Після завершення відповідних тем проводяться дві письмові модульні контрольні роботи. Для визначення рівня досягнення результатів навчання завдання для модульної контрольної роботи перевіряють уміння розв'язувати конкретні задачі та розбиратися в роботі конкретних приладів. Оцінка за семестр формується як сума балів за змістовні модулі, за перший цикл лабораторних робіт та за колоквиум, який проводиться наприкінці семестру. Умовою допуску до колоквиуму є отримати не менше 10 балів за кожен з двох модулів, та успішне виконання (мінімум 12 балів з 20) першого циклу лабораторних робіт.

Другий навчальний семестр також має два змістові модулі: у змістовий модуль 3 (ЗМ3) входять теми 1-4, у змістовий модуль 4 (ЗМ4) входять теми 5-9. Після завершення відповідних тем проводяться дві письмові модульні контрольні роботи. Оцінка за семестр формується як





*Орієнтований графік оцінювання:*

	<i>Орієнтовний період для здійснення відповідної форма оцінювання</i>
Модульна контрольна робота 1	жовтень
Модульна контрольна робота 2	кінець листопада-початок грудня
Результат поточного контролю виконання студентами самостійних робіт (7-й семестр)	грудень
Результат поточного контролю виконання студентами самостійних робіт (8-й семестр)	травень
Добір балів/додаткова контрольна робота та/або доскладання домашніх завдань	грудень, травень
Проміжний контроль (колоквіум)	друга половина грудня
Іспит	червень

**7.3. Шкала відповідності оцінок**

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
<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 та семінарських занять

№ п/п	Назва теми	У тому числі			
		Лекції	практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота
<b>1 семестр</b>					
<b>Змістовий модуль 1. КОНТАКТ МЕТАЛ-НАПІВПРОВІДНИК</b>					
1	Вступ. Предмет та задачі курсу. Мареріали сучасної електроніки. Базові напівпровідникові структури та технології їх виготовлення. Класифікація приладів.	2	-	-	2
2	Метали, діелектрики та напівпровідники з точки зонної структури. Робота виходу електронів. Контактна різниця потенціалів. Бар'єр Шоттки і бар'єр Мота. Розподіл потенціалу в шарі Шоттки. Вольт-фарадна та вольт-амперна характеристика КМН.	4	-	0	8
3	Поверхня напівпровідника. Формування та реальна модель контакту метал-напівпровідник. Електрофізичні характеристик реального діода Шоттки. Омичні контакти. Поверхнево - бар'єрні структури з квантовими ямами та квантовими точками.	6	-	3	14
<b>Змістовий модуль 2. <i>p-n</i>- ПЕРЕХІД, ГЕТЕРОПЕРЕХІД, МДН-СТРУКТУРА</b>					
4	Електронно-дірковий перехід. Методи формування. Різкий та плавний <i>p-n</i> -перехід. Розподіл потенціалу в різкому <i>p-n</i> - переході. Бар'єрна ємність різкого <i>p-n</i> -переходу.	2	-	-	4
5	Бар'єрна ємність плавно <i>p-n</i> - переходу. Вплив глибоких рівнів на ємність <i>p-n</i> -переходу	2	-	0	4
6	Інжекція неосновних носіїв в <i>p-n</i> -переході. ВАХ тонкого <i>p-n</i> - переходу за малого рівня інжекції. Формула Шоклі. Особливості ВАХ реального діода з <i>p-n</i> -переходом. Пробій <i>p-n</i> - переходу.	2	-	-	6
7	Еквівалентна схема діода з <i>p-n</i> - переходом. Дифузійна ємність. Частотні властивості діода. Перехідні процеси	4	-	3	4
8	Гетеропереходи. Зонні діаграми гетеро переходів. Методи формування гетеропереходів. Розподіл потенціалу в гетеропереході. Ємність гетеропереходу. ВАХ гетеропереходу.	2			4

9	МДН - структура. Зонні діаграми та електрофізичні характеристики ідеальної МДН - структури. Не рівноважна вольт - фарадна характеристика МДН – структури.	2		2	4
10	Вплив початкового вигину зон та поверхневих станів на вольт - фарадні характеристики МДН -структури.	2	-	-	4
<b>Всього в 1 семестрі</b>		<b>28</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>54</b>
<b>2 семестр</b>					
<b>Змістовий модуль 3. ДІОДИ ТА ТРАНЗИСТОРИ</b>					
1	Напівпровідникові діоди . Особливості електрофізичних характеристик діодів, що обумовлюють їх використання в якості приладів. Випрямні діоди, стабілітрони, імпульсні діоди та діоди з швидким відновленням, параметричні діоди та варактори, детектори та змішувачі, фотодіоди, сонячні елементи, світлодіоди та лазери,	4	-	6	12
2	Біполярний транзистор. Принцип роботи транзистора. Статичні характеристики та параметри біполярного транзистора за різних схем включення. Еквівалентна схема біполярного транзистора та частотні характеристики біполярного транзистора. Робота транзистора в імпульсному режимі. Топологія та конструкція транзисторів різного призначення. Магнітотранзистор, фототранзистор, транзисторний оптрон, оптоелектронний транзистор.	4	-		12
3	Польові транзистори. Принцип роботи і статичні характеристики та параметри польового транзистора з <i>p-n</i> - переходом в якості затвору. Еквівалентна схема і частотні властивості польового транзистора з <i>p-n</i> - переходом в якості затвора. Польові транзистори з бар'єром Шоттки в якості затвору.	4	-	-	12
4	Принцип роботи польових транзисторів з ізолюваним затвором. Транзистори з вбудованим та індукваним каналом. Статичні характеристики та параметри польових транзисторів з ізолюваним затвором. Еквівалентна схема і частотні властивості транзистора, шляхи їх покращення. Транзистор з плаваючим затвором. Енергонезалежна пам'ять на польових транзисторах. Особливості топології та конструкції польових транзисторів.	4	-		12

<b>Змістовий модуль 4. ДВОПОЛЮСНИКИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ, ПІДСИЛЕННЯ ТА ПЕРЕМИКАЧІ</b>					
5	Двополосники для генерації та підсилення сигналів. Тунельний та обернений діод. Лавино-пролітний діод. Генератори та підсилювачі на ЛПД. Інжекційно-пролітний діод. Ефект Гана. Діод Ганна та режими його роботи.	4	-	4	10
6	Прилади з від'ємним диференціальним опором. ВАХ $S$ та $N$ – типу. $S$ - діоди. Лавинний транзистор. Одноперехідний транзистор. Одноперехідний транзистор з польовим транзистором.	4	-	2	10
7	Тиристор. Базова структура тиристора. ВАХ тиристора та її характерні ділянки. Двотранзисторна модель тиристора. Умови вмикання тиристора. Методи вмикання тиристора. Процес вмикання та вимикання тиристорів. Швидкодія тиристор. Семістор. Застосування тиристорів. Методи покращення характеристик тиристорів. Спеціальні тиристири. Тиристор зі зворотною провідністю, тиристор, що вимикається, оптотиристор.	4	-		12
<b>Всього в 2 семестрі</b>		<b>28</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>80</b>
<b>Всього за рік</b>		<b>56</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>134</b>

**Загальний обсяг 210 год.**, в тому числі:

**Лекції – 56 год**

**Лабораторні 20 год.**

**Самостійна робота -134 год.**

#### **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. - Москва: Мир, 1984, Т.1. -453 с.
2. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. - Москва: Мир, 1984, Т.2. - 455 с.
3. Semiconductor Sensors, Edited by S. M. Sze. ISBN 0-471-54609-7 (с, 1994 John Wiley & Sons, Inc
4. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов.- М.: Сов. радио, 1980. – 296 с.
5. Питер Ю, Мануель Кардона Основы физики полупроводников. Москва, Физматлит, 2002, 560 с.
6. Фаренбурх А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент / Пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
7. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов. Томск. Изд-во Том. Унив. 1989 336 с.
8. А.Г.Шкавро А.Г. Практикум з фізики напівпровідникових приладів. Ч.ІІ. Київ: КНУ, 2007, -60 с.
9. Стриха В.И. Бузанева Е.В. Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике. Москва. Радио и связь. 1987., 256 с.
10. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.Д. Полупроводниковые приборы. Учебник для специальности “Полупроводники и диэлектрики” вузов. М., “Высш. Школа”, 1973. 398 с.
11. Пожела Ю., Юцене В. Физика сверхбыстродействующих транзисторов. - Вильнюс, 1985.
12. Kwok K.NG Complete guide to semiconductor Devices с. New York, 628 с.

13. Nicollan E. H., Brews J. R. MOS (Metal Oxide Semiconductor). Physics and Technology./ 1988, 829 p.
14. Шарма Б. Л., Пурохит Р. К. Полупроводниковые гетеропереходы: Пер. с англ./ Под ред. Ю. В. Гуляева.—Москва: Сов. радио, 1979, 232 с.
15. Блихер А. Физика тиристорov: Пер. с англ./Под ред. И. В. Грехова.—Ленинград: Энергоиздат. 1981.—264 с.