КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана з навчальної роботи

_____ Олексій НЕЧИПОРУК

«____»_____2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

"Фізична та наноелектроніка"

для студентів

галузь знань	**10 Природничі науки**
спеціальність	**105 Прикладна фізика та наноматеріали**
рівень вищої освіти	**бакалавр**
освітньо-наукова програма	"**Еконофізика"**
вид дисципліни	**вибіркова**

Форма навчання	**денна**
Навчальний рік	**2022/2023**
Семестр	**7**
Кількість кредитів ECTS	**5**
Мова викладання, навчання та оцінювання	**українська**
Форма заключного контролю	**іспит**

Викладачі:
Сергій КУЛИК, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки
Юрій ЛЕНЬ, канд. фіз.-мат. наук, асистент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «___» _____ 20__ р.
на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «___» _____ 20__ р.

КИЇВ – 2022

Розробник:
Юрій ЛЕНЬ, канд. фіз.-мат. наук, асистент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

_____Ганна КАРЛАШ

Протокол № __ від «___» _____2022 р.

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

Протокол № ___ від « ___ » _____ 2022 р.

Голова науково-методичної комісії _____Сергій РАДЧЕНКО

« ___ » _____ 2022 року.

1. Мета дисципліни – розгляд основних етапів розвитку електроніки, мікро- та наноелектроніки, поглиблення здобувачами освіти знань про структуру та властивості наноматеріалів, огляд сучасних наукових та технологічних аспектів виготовлення наноструктур, напрямів та перспектив розвитку наноелектроніки. У курсі розглянуті питання, які стосуються класифікації наноматеріалів, методів їх отримання, дослідження, а також розглянуто існуючі та перспективні напрямки практичного застосування нанорозмірних матеріалів. Розглянуті питання, які стосуються класифікації емісій та приклади їх використань для дослідження фізичних властивостей поверхонь. Наведено фізичні основи термоелектронної емісії металів та напівпровідників.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна "Фізична та наноелектроніка" є частиною вибіркового блоку дисциплін для ОП "Прикладна фізика, наноелектроніка та комп'ютерні технології" та використовує результати вивчення дисциплін: "Загальна фізика", "Матеріали сучасної електроніки", "Електрика та магнетизм", "Молекулярна фізика", "Фізика поверхневих явищ".

3. Анотація навчальної дисципліни:

Нормативна навчальна дисципліна "Фізична та наноелектроніка" є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-наукового рівня ОКР "бакалавр".

Вивчення дисципліни "Фізична та наноелектроніка" дозволяє зрозуміти фізичні аспекти мікро- та наноелектроніки, шляхи переходу від мікро- до наноелектронних приладів; наноматеріали та нанотехнології, що лежать в основі побудови та функціювання приладів та пристроїв наноелектроніки. Наведено основні відомості про сучасний рівень науково-технічних досягнень у галузі наноелектроніки на основі напівпровідників, феромагнетиків, вуглецевих наноструктур, графену, фулеренів, вуглецевих нанотрубок. Наведено фізичні основи молекулярної електроніки. Розглянуто наноструктурні феромагнетики та основи магнітної наноелектроніки. Розглянуто основні види емісій: автоелектронна, фотоелектронна, вторинно-електронна емісія.

4. Завдання (навчальні цілі):

1. Надання основних відомостей курсу "Фізична та наноелектроніка", які складають важливу частину загальної підготовки здобувачів освіти за спеціальністю "Нанофізика та наноелектроніка".
2. Поглиблення знань з курсів "Загальна фізика" про фізичні аспекти мікро- та наноелектроніки.
3. Опис наноматеріалів та нанотехнологій, що лежать в основі побудови та функціювання приладів та пристроїв наноелектроніки, сучасних наукових та технологічних аспектів виготовлення наноструктур.
4. Знання про класифікацію та поділ напівпровідникових квантових структур на нульвимірні, одновимірні та двовимірні; основні фізичні явища та особливості перебудови енергетичного спектру в низькорозмірних напівпровідникових системах; особливості прояву квантово-розмірних ефектів в нульвимірних, одновимірних та двовимірних структурах; основні технологічні методи одержання квантових шарів, нанониток, наночастинок та надграток; класифікацію напівпровідникових низькорозмірних структур та їхні фізичні властивості; можливості практичного застосування напівпровідникових квантових структур в опто-, мікро-, наноелектроніці та сучасних технологіях.
5. Застосовування знань, умінь, навичок та комунікації у професійній діяльності, розвивати логічне та аналітичне мислення здобувачів освіти.

Забезпечити досягнення компетентностей:

ЗК-2. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у

розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

ЗК-7. Навички використання інформаційних та комунікаційних технологій.

ЗК-8. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

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

ФК-8. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем, для пошуку методів можливих рішень задач у галузі економіки.

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			
1	студент повинен **знати**:	лекційні заняття,	письмові модульні контрольні роботи	до 45
1.1	Існуючу класифікацію наноматеріалів	*лекція*	=//=	
1.2	Фізичну суть сучасних методів дослідження наноматеріалів.	*лекція*	=//=	
1.3	Властивості, технологічні аспекти отримання та застосування окремих класів наноматеріалів, зокрема, фулеренів, графену, вуглецевих нанотрубок	*лекція*	=//=	
1.4	Фізичні властивості типових структур мікро- та наноелектроніки, які лежать в основі побудови та функціювання приладів та пристроїв наноелектроніки.	*лекція*	=//=	
1.5	Класифікацію та поділ напівпровідникових квантових структур на нульвимірні, одновимірні та двовимірні.	*лекція*	=//=	
1.6	Класифікацію напівпровідникових низькорозмірних структур та їхні фізичні властивості.	*лекція*	=//=	
1.7	Способи використання типових структур мікро- та наноелектроніки, новітніх матеріалів та приладів на їх основі,	*лекція*	=//=	
1.8	Можливості практичного застосування напівпровідникових структур в мікро-, наноелектроніці та сучасних технологіях,	*лекція*	=//=	
2	студент повинен **вміти**:	лекційні заняття,	письмові модульні контрольні роботи,	до 45
2.1	Класифікувати типові структури мікро- та наноелектроніки і новітні матеріали, пояснити принципи їхнього функціювання та можливості застосування у приладах та пристроях наноелектроніки.	=//=	=//=	
2.2	Прогнозувати підходи щодо отримання новітніх матеріалів із наперед заданими фізичними властивостями	=//=	=//=	
2.3	Практично застосовувати свої знання щодо оптимізації фізичних властивостей базових матеріалів сучасної електроніки при пониженні	=//=	=//=	

	їх розмірності.			
2.4	Уміти користуватися набутими знаннями при розгляді різноманітних практичних задач.	=//=	=//=	
3	**комунікація**	лекційні заняття, заняття з використанням математичних пакетів	письмові модульні контрольні роботи,	до 5
3.1	здатність грамотно будувати комунікацію, виходячи з мети і ситуації спілкування			
3.2	здатність бути відповідальним за внесок в роботу команди при вирішенні проблеми	лекційні заняття з використанням роботи у підгрупах	оцінювання виконання завдань для самостійної	
4	**автономність та відповідальність**	лекційні заняття, заняття з використанням математичних пакетів	письмові модульні контрольні роботи, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	до 5
4.1	самостійність у навчанні та/або професійній діяльності			

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

Результати навчання дисципліни (код) / **Програмні результати навчання (назва)**	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	4.1
ПРН 1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики, прикладної економіки.	+	+	+	+	+	+	+	+					+	+	+
ПРН 7. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, економічних процесів, 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. Вклад результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні і успішної здачі всіх робіт наступний:

- результати навчання 1.1 – 1.18 [**знання**] до 45 %;
- результат навчання 2.1 – 2.4 [**вміння**] – до 45%;
- результат навчання 3.1 [**комунікація**] – до 5%;
- результат навчання 4.1 [**автономність та відповідальність**] – до 5%.

Форми оцінювання здобувачів освіти:

- **семестрове оцінювання**: контроль здійснюється за таким принципом. Навчальний семестр має два змістовних модуля: у змістовий модуль 1 (ЗМ1) входять теми 1-9(I), у змістовий модуль 2 (ЗМ2) входять теми 1-9(II). Після завершення відповідних тем проводяться письмові модульні контрольні роботи. Для визначення рівня досягнення результатів навчання завдання для модульної контрольної роботи перевіряють знання розглянутих тем на лекціях. Обов'язковим для допуску до екзамену є написання модульних контрольних робіт з кількістю балів не менше 30 та 30 балів відповідно.
- **підсумкове оцінювання (у формі іспиту):** форма іспиту – письмово-усна. Екзаменаційний білет складається із 2 питань, питання оцінюються: перше – до 20, друге – до 20. Всього за екзамен можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, при цьому оцінка за результатами навчання 2 [вміння] і 3 [комунікативність та відповідальність] не може бути меншою ніж 50% від максимального рівня (23 і 5 балів відповідно), оцінка за екзамен не може бути меншою **15 балів.**
- **умови допуску до підсумкового іспиту:** умовою допуску до екзамену є отримання здобувачем освіти сумарно не менше, ніж *критично-розрахунковий мінімум 30 балів* за семестр. Здобувачі освіти, які протягом семестру набрали сумарно меншу кількість балів, ніж критично-розрахунковий мінімум **30 балів**, для одержання допуску до екзамену обов'язково повинні написати, на необхідну порогову кількість балів, додаткову контрольну роботу за матеріалом відповідного модуля.

У випадку відсутності здобувача освіти з поважних причин відпрацювання та перездачі модульних контрольних робіт здійснюються у відповідності до „Положення про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу" від 1 жовтня 2010 року.

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

Оцінювання за формами контролю:

	ЗМ1		***ЗМ2***	
	Min.– балів	*Max.– балів*	*Min.– балів*	*Max.– балів*
Модульна контрольна робота	15	30	15	30

Орієнтований графік оцінювання:

	Орієнтовний період для здійснення відповідної форма оцінювання
Модульна контрольна робота 1	жовтень
Модульна контрольна робота 2	листопад
Добір балів/додаткова контрольна робота та/або доскладання домашніх завдань	листопад
Іспит	грудень

Розрахунок балів, які студент отримує при успішній здачі іспту:

	Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Іспит	Підсумкова оцінка
Мінімум	*15*	*15*	*30*	*60*
Максимум	**30**	**30**	**40**	**100**

7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
Відмінно / Excellent	90-100%
Добре / Good	75-89%
Задовільно / Satisfactory	60-74%
Незадовільно / Fail	0-59%

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

№ з/п	Назва теми	У тому числі			
		Лекції	Лабораторні заняття	Семінарські заняття	Самостійна робота
Змістовий модуль 1. Основи фізичної електроніки					
1	Модель Зоммерфельда. Густина електронних станів. Енергія Фермі для металів. Робота виходу електронів.Контактна різниця потенціалів.	4			8
2	Термоелектронна емісія металів. Термоелектронна емісія напівпровідників. Залежність струму термоелектронної емісії від електричного поля. Вплив просторового заряду на протікання струму термоелектронної емісії.	4			8
3	Ефект Шотткі для металів.	2			8
4	Адсорбовані плівки та робота виходу металів.	2			8
5	Автоелектронна емісія. Прозорість бар'єру. Теорія АЕЕ металів. Густина струму автоелектронів. Застосування АЕЕ. Автоелектронний та автоіонний проектор.	4			8
6	Фотоелектронна емісія. Основні закони фотоефекта. Квантовий вихід. Спектральна характеристика ФЕЕ. Теорія Фаулера.	4			8
7	Вторинно-електронна емісія. Основні характеристики. Особливості ВЕЕ діелектриків. Коефіцієнт ВЕЕ.	2			8
8	Плазмові коливання. Поверхнева іонізація та нейтралізація іонів на поверхні.	2			8
9	Іонно-електронна емісія. Іонно-електронна емісія та ВЕЕ. Спільні риси та відмінності.	2			8

Змістовий модуль 2. Основні фізичні передумови наноелектроніки					
1	Вступ. Наноелектроніка. Зміст поняття «нанотехнології». Поняття про наномасштаб. Поняття про нанооб'єкт та наноматеріал. Класифікація нанооб'єктів. Класифікація наноматеріалів	2			8
2	Базові елементи наноелектроніки. Класичні та квантові закони руху електронів. Густина квантових станів. Квантова яма. Квантовий дріт. Квантова точка. Застосування квантових напівпровідникових структур в електроніці	2			8
3	Властивості напівпровідникових низькорозмірних структур. Потенціальні ями, бар'єри і тунелювання. Одноелекронне тунелювання і кулонівська блокада. Резонансне тунелювання. Балістичне перенесення заряду. Квантовий ефект Холла	2			8
4	Основні фізичні передумови наноелектроніки. Наноструктурні метали. Напівпровідникові матеріали.	2			8
5	Основи нанотехнології напівпровідників. Нанолітографія. Епітаксіальні методи формування наноструктур. Зондові методи створення наноструктур. Самоорганізація структур у нанотехнологіях. Напівпровідникові гетероструктури	2			8
6	Вуглецеві наноструктури, графен і фулерени. Вуглецеві нанотрубки	2			8
7	Наноструктурні феромагнетики. Магнітна наноелектроніка	2			8
8	Елементи наноелектроніки: біполярні транзистори на гетеропереходах, польові гетеротранзистори, транзистори на гарячих електронах, прилади на резонансно-тунельному ефекті, одноелектронні транзистори	2			7
9	Фізичні основи молекулярної електроніки	2			7
	Всього	**44**			**100**

Загальний обсяг **150** год., в тому числі:
Лекцій **– 44** год.
Самостійна робота **- 100** год.
Консультації – **6** год.

9. Рекомендовані джерела:

Основна:

1. М.Г. Находкін, Д.І. Шека. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки: підручник. - К.: ВПЦ "Київський університет", - 2005, 431 с. (НБУ ім. В. Вернадського, Бібліотека ім. М. Максимовича).
2. Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, В.І. Ільченко, Ю.І. Якименко. Мікроелектроніка і наноелектроніка. Вступ до спеціальності. - К.: НТТУ "КПІ", - 2010, 160 с. (НБУ ім. В. Вернадського).
3. Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка. - К.: НТТУ "КПІ", - 2012, 300 с. (НБУ ім. В. Вернадського).
4. Будник М.М., Войтович І.Д., Ільченко В.В., Корсунський В.М. Фізико-технологічні основи наноелектроніки: навчальний посібник. – Київ: Інтерсервіс, 2015. – 383 с. (Бібліотека ім. М. Максимовича).
5. М.М. Будник, І.Д. Войтович, А.В. Коваленко, В.М. Корсунський, В.Н. Курашов, О.В.

Прокопенко. Прикладна фізика та електроніка: підручник. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2020. – 431 с. (Бібліотека ім. М. Максимовича).

Додаткова:

1. V.V. Mitin, V.A. Kochelap, M.A. Stroscio, Introduction to Nanoelectronics: Science, Nanotechnology, Engineering, and Applications (New York, Cambridge University Press, 2008). – 347c.
2. Багдасарян А.А. Основи наноелектроніки: навчальний посібник / А.А. Багдасарян. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 133 с.
3. Осадчук В.С. Основи наноелектроніки: Навчальний посібник / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 199 с.
4. НАНОЕЛЕКТРОНІКА. Квантово-механічні засади, структури, фізичні властивості: навч. посіб. / Д.М. Заячук, Ю.І. Якименко, В.М. Співак, О.В. Богдан, А.Т. Орлов, В.М. Коваль. – К.: Кафедра, 2013. – 428 с., іл.