

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

(назва факультету, інституту, центру, коледжу)

Кафедра оптики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана
з навчальної роботи
Фізичний
факультет

« 10 жовтня 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Методи контролю та керування властивостями
матеріалів наноелектроніки

для студентів

галузь знань **15 Автоматизація та приладобудування**
спеціальність **152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка**
освітній рівень **магістр**
освітня програма **Лазерна та оптоелектронна техніка**
спеціалізація _____
(за наявності)
вид дисципліни **обов'язкова**

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2022/2023
Семестр	2
Кількість кредитів ECTS	6
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	залік

Викладачі: проф. Кондратенко С.В.

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

Розробник(и): Кондратенко С.В., д.ф.-м.н., професор, професор кафедри оптики

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри

Поперенко Л.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Протокол № 13 від « 19 » травня 2022 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол від « 10 » червня 2022 року № 11

Голова науково-методичної комісії

(підпис)

(Оліх О.Я.)

(прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2022 року

ВСТУП

1. Мета дисципліни – надати базові знання про методи контролю та керування властивостями матеріалів, які використовуються в нанoeлектроніці.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати основи фізики напівпровідників, квантової механіки, принципи теорії твердого тіла.
2. Вміти - вимірювати основні параметри і характеристики напівпровідників, електрофізичні параметри пристроїв електроніки, аналізувати роботу електронних схем.
3. Володіти елементарними навичками вибору компонент електронних схем прецизійних пристроїв і приладів оптотехніки.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна "Методи контролю та керування властивостями матеріалів нанoeлектроніки" має на меті надати студентам знання про методи контролю та керування властивостями матеріалів, які використовуються в нанoeлектроніці. Студенти ознайомляться з основними методами аналізу та характеристизації властивостей матеріалів, зокрема атомно-силовою мікроскопією, електронною мікроскопією та іншими методами. Крім того, студенти дослідять різноманітні підходи щодо керування властивостями матеріалів нанoeлектроніки, такі як зонна інженерія, нанолітографія тощо. У кінцевому результаті студенти зможуть зрозуміти основні принципи та методики контролю та керування властивостями матеріалів в нанoeлектроніці, що дозволить їм використовувати ці знання в практичних застосуваннях.

4. Завдання (навчальні цілі): - ознайомлення студентів з фізичними властивостями нанорозмірних матеріалів, з основними поняттями та ідеями сучасної нанoeлектроніки, підготовка студентів до вивчення спеціальних оглядів та оригінальних робіт з окремих питань даної області. Ознайомлення із сучасними методами дослідження основних параметрів та властивостей нанорозмірних структур.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Класифікацію матеріалів нанoeлектроніки, основи зонної теорії наноструктур.	Лекції та лабораторні роботи	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань, модульна контрольна робота	10
2.1	Статистику електронів та дірок, кінетичні явища в наноструктурах, а також фізичні основи роботи основних типів пристроїв нанoeлектроніки, вплив ефектів розмірного квантування на параметри та характеристики нанoeлектронних пристроїв	Лекції та лабораторні роботи	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань,	10
2.2	Застосувати набуті знання для оцінки параметрів низько-розмірних	Лекції та лабораторні роботи	Щотижневий контроль попереднього	10

	матеріалів, користуватись основними формулами для оцінки параметрів нанорозмірних структур, вміти проводити відповідні виміри та розрахунки.		матеріалу, модульна контрольна робота	
2.3	Використати набуті навички на виробничих підприємствах та в лабораторіях науково-дослідних і навчальних установ.	Лекції та лабораторні роботи	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань,	10

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни		1	2
Програмні результати навчання			
ПР01.	Знати і розуміти сучасні методи наукових досліджень, організації та планування експерименту, комп'ютеризованих методів дослідження та опрацювання результатів вимірювань.	+	+
ПР02.	Знати і розуміти основні поняття теорії вимірювань, застосовувати на практиці та при комп'ютерному моделюванні об'єктів та явищ.	+	+
ПР05.	Вміти формулювати та вирішувати завдання у галузі метрології, що пов'язані з процедурами спостереження об'єктів, вимірювання, контролю, діагностування і прогнозування з урахуванням важливості соціальних обмежень (суспільство, здоров'я і безпека, охорона довкілля, економіка, промисловість тощо).	+	+
ПР13.	Застосовувати апаратні та програмні засоби сучасних інформаційних технологій для вирішення задач в сфері метрології та інформаційновиміральної техніки.	+	+
ПР19.	Вміти здійснювати планування та проводити експериментальне дослідження структурних, оптичних та електрофізичних властивостей органічних (в тім числі біологічних та нанооб'єктів) і неорганічних середовищ.	+	+
ПР20.	Проводити проектування та конструювання оптичних та оптико-електронних приладів та систем, приладів для спектральних досліджень.	+	+
ПР21.	Формулювати робочі гіпотези досліджуваної проблеми, вибирати та вміти обґрунтувати необхідні та ефективні методи їх експериментальних досліджень в залежності від предмету та об'єкту досліджень.		+

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1: 20 балів
2. Модульна контрольна робота 2: 20 балів

- підсумкове оцінювання у формі заліку: - 60 балів

- умови допуску до підсумкового заліку:

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше ніж 20 балів.

7.2 Організація оцінювання:

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою, яка складається із 2 змістових модулів. Система оцінювання знань включає поточний, модульний та семестровий контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою. Форми поточного контролю: оцінювання контрольних робіт, звітів з лабораторних робіт, реферату, усних відповідей під час лекції, письмових та усних самостійних завдань. Модульний контроль: 2 модульні контрольні роботи, за які студент може отримати максимально **40 балів** (по **20 балів** за кожну роботу). Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі іспиту, під час якого студент може отримати максимально **40 балів**.

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і лабораторних занять

№ п/п	Номер і назва теми*	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
Змістовий модуль 1 Електронні властивості матеріалів наоелектроніки				
1	Лекція 1. Вступ. класифікації методів неруйнвного контролю матеріалів. Мета та завдання курсу. Основні уявлення та визначення.	2	2	4
2	Лекція 2. Класифікація матеріалів наоелектроніки. Умови щодо реалізації квантово-розмірних ефектів, оцінка граничних геометричних величин елементів, в яких реалізується ефект розмірного квантування (квантові точки, квантові нитки, квантові ями).	2		4
3	Лекція 3. Електронний спектр та функція густини станів квантових ям. Енергетичний спектр та функції густини станів електрона в нескінченно глибокій потенціальній ямі.	2	2	4
4	Лекція 4. Частинка в прямокутній потенціальній ямі. Поняття про підзони розмірного квантування. Функція густини станів квантової ями.	2		4
5	Лекція 5. Енергетичний спектр носіїв заряду в квантовій ямі складної форми. Параболічні та трикутні квантові ями.	2	2	4
6	Лекція 6. Електронний спектр та функція густини станів квантових дротів та квантових точок. Енергетичний спектр квантових дротів та квантових точок. Низькорозмірні системи з циліндричною та сферичною симетрією. Функція густини станів в квантовому дроті та квантовій точці.	2		4
7	Лекція 7. Низькорозмірні багаточарові гетероструктури та надгратки. Гетеропереходи I та II типу. Розмірне квантування в гетероструктурах. Особливості енергетичного спектру подвійної квантової ями. Багаточарові гетероструктури.	2	2	4
8	Лекція 8. Гетеропереходи з модульованим легуванням. Надгратки. Класифікація напівпровідникових надграток. Енергетичний спектр надграток. Модель надгратки Кроніга-Пенні. Розщеплення зон.	2		4
9	Лекція 9. Статистика електронів та дірок в низькорозмірних напівпровідниках Рівноважна концентрація носіїв заряду і розміщення рівня Фермі у власному напівпровіднику. Інтеграл Фермі та його наближені вирази. Критерії виродженого і невиродженого електронного газу.	2	2	4
10	Лекція 10. Концентрація вільних носіїв заряду у квантовій ямі, дроті та нитці. Вирази для концентрації електронів в квантовій ямі для граничних випадків сильно виродженого і невиродженого електронного газу.	2		4
11	Лекція 11. Вплив електричного поля на енергетичний спектр квантових ям.	2	2	4

**Змістовий модуль 2 Вимірювання параметрів і характеристик матеріалів
наноелектроніка**

12	Лекція 12. Тунелювання через квантово-розмірні структури. Резонансне тунелювання крізь двобар'єрну структуру з квантовою ямою. Вольт-амперна характеристика багат шарових структур. Тунелювання через трикутний потенціальний бар'єр.	2		4
13	Лекція 13. Методи неруйнівного контролю наноструктур за допомогою скануючого тунельного мікроскопу.	2	2	4
14	Лекція 14. Методи неруйнівного контролю наноструктур за допомогою атомно-силового мікроскопу.. Принцип вимірювання топології поверхні наноструктур за допомогою атомно-силового мікроскопу. Контактний та напівконтактний режими роботи.	2		4
15	Лекція 15. Вимірювання електропровідності наноструктур за допомогою атомно-силового мікроскопа. Кулонівська блокада. Приклади квантових систем для спостереження кулонівської блокади.		2	
16	Лекція 16. Вимірювання електропровідності наноструктур за допомогою атомно-силового мікроскопа. Одноелектронний транзистор. Реалізація одноелектронних пристроїв.	2		4
17	Лекція 17. Вимірювання електропровідності наноструктур за допомогою атомно-силового мікроскопа. Метод зонда Кельвіна.	2	2	4
18	Лекція 18. Виготовлення наноструктур методом нанолітографії.	2		4
19	Лекція 19. Електронна мікроскопія наноструктур.	2	2	4
20	Лекція 20. Магніто-силова мікроскопія.	2		4
21	Лекція 21. Застосування квантового ефекту Холла для метрології електричного опору. 1. Квантовий ефект Холла в двовимірному електронному газі. Тензор електропровідності в магнітному полі.		2	4
22	Лекція 22. Застосування квантового ефекту Холла для метрології електричного опору. 2. Ефект Шубнікова-де Гааза. Квантування холівського опору двомірного електронного газу в магнітному полі.			4
ВСЬОГО		44	16	120

Загальний обсяг 90 год., в тому числі:

Лекцій – 30 год.

Самостійна робота - 60 год.

Перелік лабораторних робіт:

Лабораторна робота № 1.

Визначення ширини забороненої зони наноструктур

Лабораторна робота № 2.

Вимірювання електропровідності наноструктур.

Лабораторна робота № 3.

Ефект Холла

Лабораторна робота № 4.

Контроль якості поверхні за допомогою атомно-силового мікроскопу.

Лабораторна робота № 5.

Електронна мікроскопія наноструктур.

Лабораторна робота № 6.

Розроблення нормативно-технічної документації до стандартних зразків матеріалів наноелектроніки: паспорт, опис, інструкції, методики, стандарти та інша конструкторська документація.

9. Рекомендовані джерела:

Основна:

1. Л.П. Павлов. Основи метрології. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 126 с.
3. Державний стандарт України 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.
4. Державний стандарт України 3834-98. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань електро-рушійної сили та постійної напруги.
5. Hartmann, G., Siegner, U., & Schmucker, U. (Eds.). (2018). Springer Handbook of Metrology and Testing of Electrical Properties. Springer.
6. Tumanski, S. (2018). Principles of Electrical Measurement. John Wiley & Sons.
7. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. ДСТУ 2865-94
8. ДСТУ EN 61326-1:2016 Електричне обладнання для вимірювання, контролю та лабораторного застосування. Вимоги до електромагнітної сумісності. Частина 1. Загальні вимоги (EN 61326-1:2013, IDT)
9. John H. Davies. The physics of low-dimensional semiconductors. An introduction. – Cambridge university press, 1998. – 425 p.

Додаткова:

1. Бичківський Р. В., Столярчук П. Г., Гамула П. Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2002. 560 с.
2. Величко О. М., Кучерук В. Ю., Гордієнко Т. Б., Севастьянов В. М. Основи стандартизації та сертифікації: підручник. Київ, 2012. 362 с
3. Mark Fox. Optical properties of solids / Oxford University Press, 2001. – 281 p.