

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Фізичний факультет  
Кафедра оптики**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Заступник декана  
з навчальної роботи

Оксана МОМОТ

« 10 » 2024 року



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Сучасні оптичні матеріали**

для студентів

галузь знань	10 «Природничі науки»
спеціальність	104 «Фізика та астрономія»
освітній ступінь	бакалавр
освітня програма	ОПП «Фізичне матеріалознавство / Неметалічне матеріалознавство»
вид дисципліни	обов'язкова В223.7

Форма навчання	очна
Навчальний рік	20__/20__
Навчальний семестр	__
Кількість кредитів ECTS	__
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	залік

Викладач(і): д.ф.-м.н., проф. Кондратенко Сергій Вікторович


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

**КИЇВ – 20\_\_**

Розробник(и)      Кондратенко Сергій Вікторович, д.ф.-м.н., проф., професор  
кафедри оптики  
(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри оптики

 (Леонід ПОПЕРЕНКО)  
Протокол № \_\_\_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 11 від «10» червня 2022 р.

Голова науково-методичної комісії  (Олег ОЛІХ)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**1. Мета дисципліни** – надати базові знання з оптики сучасних матеріалів та твердотільних наноструктур, які необхідні для оптичної діагностики напівпровідникових матеріалів та розуміння явищ, що вивчаються в інших курсах за спеціальністю.

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

- 1. Знати основи квантової механіки, основні поняття фізики напівпровідників, принципи теорії твердого тіла.*
- 2. Вміти користуватися методами фізики напівпровідників, оптики, квантової механіки, експериментальними та теоретичними методами досліджень фізичних властивостей металів, діелектриків та напівпровідників.*
- 3. Володіти елементарними навичками дослідження оптичних властивостей твердих тіл.*

**3. Анотація навчальної дисципліни:**

Навчальна дисципліна «Сучасні оптичні матеріали» присвячена вивченню оптичних властивостей напівпровідників та фізичних процесів, покладених в основу методів оптичної діагностики сучасних матеріалів. Розглянуто електронний спектр, поглинання та випромінювання світла напівпровідниками. Вивчення дисципліни передбачає також ознайомлення з новітніми методиками діагностики наноструктур та керування оптичними властивостями напівпровідникових матеріалів.

Програма навчальної дисципліни складається з таких змістових модулів:

1. У межах першого змістовного модуля на лекціях розглядаються поглинання та випромінювання світла напівпровідниками та напівпровідниковими наноструктурами, фононні процеси в напівпровідниках, проводиться також самостійне вивчення матеріалу описового характеру, вказаного лектором.
2. У межах другого змістовного модуля на лекціях розглядаються оптичні методи діагностики та аналізу напівпровідників, зокрема спектроскопія відбивання, поглинання та фотолумінесценції, комбінаційне розсіювання світла, спектральна еліпсометрія, фотоелектронна спектроскопія, кінетичні методи діагностики напівпровідників. Передбачено самостійне вивчення матеріалу описового характеру, вказаного лектором.

Методи викладання: лекції, семінари, лабораторні роботи, консультації. Методи оцінювання: модульні контрольні роботи, реферати, контроль за виконанням лабораторних робіт, залік за виконання лабораторних робіт, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок модульного контролю (60%) та іспиту (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі):** - ознайомлення студентів з основними методами оптичної діагностики напівпровідників, напрацювання вміння пояснити якісно та математично описати оптичні процеси в напівпровідниках та напівпровідникових структурах різної топології, і на основі отриманих співвідношень експериментально визначати їх параметри.

Дисципліна спрямована на досягнення таких загальних та спеціальних (фахових, предметних) компетентностей випускника:

*Інтегральних:*

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

*Загальних:*

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

*Фахових*

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК7. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

##### 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	Основні оптичні властивості напівпровідників та напівпровідникових структур різної топології.	Лекції	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань, модульна контрольна робота	20
1.2	Фізичні принципи оптичної діагностики напівпровідників методами спектроскопії відбивання, поглинання та фотолюмінесценції, комбінаційного розсіювання світла, конфокальної і ближньопольової оптичної мікроскопії, спектральної еліпсометрії, фотоелектронна спектроскопії.	Лекції	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань,	20
2.1	Використовувати отримані знання для аналітичних розрахунків та комп'ютерного моделювання електронних властивостей пристроїв твердотільної електроніки та оптотехніки.			20
2.2	Використовувати результати аналітичних розрахунків та комп'ютерного моделювання для отримання інформації про фізичні механізми явищ, що впливають на пристроїв твердотільної електроніки та оптотехніки, вміти проводити відповідні виміри та розрахунки.	Лекції	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань, модульна контрольна робота	20
2.3	Використати набуті навички на виробничих підприємствах та в лабораторіях науково-дослідних і навчальних установ.	Лекції	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань,	20

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

Результати навчання дисципліни (код) Програмні результати навчання (назва)	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3
ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики.	+	+	+	+	+	+
ПРН2. Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них.	+	+	+	+	+	+
ПРН17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду.	+	+			+	
ПРН19. Знати та розуміти необхідність збереження та примноження моральних, культурних та наукових цінностей і досягнень суспільства.			+	+		
ПРН20. Знати і розуміти свої громадянські права і обов'язки, як члена вільного демократичного суспільства, мати навички їх реалізації, відстоювання та захисту.	+	+		+		+

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

#### - семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 (10 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 (10 балів).
2. Звіти про виконані лабораторні роботи (20 балів).
3. Реферат (5).
4. Опитування в процесі лекції (5 балів).
5. Самостійна робота (10 балів).

– **підсумкове оцінювання у формі екзамену:** на екзамені максимально можна отримати 40 балів.

#### - умови допуску до підсумкового екзамену:

**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. Студент може отримати максимально **20** балів за оцінювання реферату, усних відповідей під час лекції, письмових та усних самостійних завдань та **20** балів за звіти про виконані лабораторні роботи. Модульний контроль: 2 модульні контрольні роботи, за які студент може отримати максимально **20 балів** (по **10 балів** за кожну роботу). Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі іспиту, під час якого студент може отримати максимально **60** балів.

### 7.3 Шкала відповідності оцінок

<b>Відмінно</b> / Excellent	90-100
<b>Добре</b> / Good	75-89
<b>Задовільно</b> / Satisfactory	60-74
<b>Незадовільно</b> / Fail	0-59
<b>Зараховано</b> / Passed	60-100
<b>Не зараховано</b> / 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				
1	Лекція 1. Вступ. Перспективні матеріали оптоелектроніки. Мета та завдання курсу. Основні уявлення та визначення. Основні вимоги щодо діагностики об'єктів оптоелектроніки та нанофотоніки. Наноструктуровані 1D, 2D та 3D матеріали. Електронний спектр та комбінована функція густини станів в квантових ямах, квантових дротах та квантових точках.	2		3
2	Лекція 2. Оптичне поглинання в квантових ямах. Особливості поглинання світла напівпровідниковими наноструктурами. Міжзонні та міжпідзонні оптичні переходи в квантових ямах. Оптичне поглинання квантовими точками та квантовими нитками. Вплив розмірного квантування і хімічного складу на оптичні властивості напівпровідникових матеріалів.	2		3
3	Лекція 3. Фотолюмінесценція в квантових ямах і квантових дротах. Випромінювальна рекомбінація в квантових ямах і квантових дротах. Форма смуги фотолюмінесценції. Фотолюмінесценція напівпровідникових наноструктур при різних температурах. Температурне та оптичне гасіння фотолюмінесценції. Перетворення інфрачервоного випромінювання у видимий діапазон при двофотонному поглинанні (Two-photon upconversion).	2		3
4	Лекція 4. Екситони в напівпровідниках та наноструктурах. Екситони Ваньє-Мотта та Френкеля. Енергетичний спектр та стани екситонів Ваньє-Мотта. Енергії зв'язку екситонів в типових напівпровідниках. Екситонне поглинання світла в напівпровідниках. Вплив екситонних ефектів на оптичні явища поблизу краю забороненої зони. Екситонне поглинання при прямих переходах у випадку екситонів Ваньє-Мотта. Поглинання при непрямих переходах. Екситонне поглинання в квантових ямах. Аналіз експериментів.	2		3
5	Лекція 5. Електрооптичні та оптичні ефекти в квантових ямах та надгратках. Електронний спектр надграток. Сходінки Штарка та осциляції Блоха. Електрооптичні модулятори.	2		3

6	<b>Лекція 6.</b> Поглинання світла вільними носіями заряду. Оптичні явища, обумовлені вільними носіями заряду. Класичний плазмонний резонанс, плазмова частота, час релаксації. Спектри відбивання вільними носіями заряду, аналіз експериментальних даних. Поглинання світла вільними носіями заряду. Переріз поглинання, вплив різних механізмів розсіювання. Внутрішньозонні оптичні переходи між різними гілками зони провідності та валентної зони напівпровідників та напівпровідникових наноструктур.	2		3
7	<b>Лекція 7.</b> Теплові коливання атомів кристалу. Коливання і хвилі в одновимірній решітці з однакових атомів. Перша зона Бріллюєна. Періодичні граничні умови. Оптичні коливання. Коливання тривимірної кристалічної решітки. Дисперсійні криві та частотний спектр коливань решітки. Енергія нормальних коливань. Фонони в полярних напівпровідниках. Криві дисперсії для фононів в кубічних кристалах.	2		3
8	<b>Лекція 8.</b> Фонони в об'ємних напівпровідниках. Закон дисперсії та частотний спектр коливань тривимірної кристалічної решітки. Енергія нормальних коливань. Фонони. Функція густини мод коливань. Локальні фононні коливання.	2		3
9	<b>Лекція 9.</b> Поглинання решіткою. Спектри інфрачервоного відбивання напівпровідників. Поглинання решіткою. Багатофононне поглинання. Фононні поляритони. Плазмон-фононний резонанс. Спектри поглинання і відбивання для однофононних переходів, аналіз експериментальних даних.	2		3

### ***Змістовий модуль 2***

13	<b>Лекція 10.</b> Комбінована функція густини станів та сингулярності Ван Хова. Мікроскопічна теорія діелектричної функції. Комбінована функція густини станів та сингулярності Ван Хова. Критичні точки. Прямий та непрямий край поглинання. Частотно-модульоване відбивання та поглинання.	2		3
14	<b>Лекція 11.</b> Основи модуляційної спектроскопії. Напівпровідники в однорідному електричному полі. Електровідбивання. Фотовідбивання. Вплив деформацій на електронний спектр напівпровідників. П'єзовідбивання.	2		3
15	<b>Лекція 12.</b> Спектральна еліпсометрія. Методики визначення спектральних залежностей показників заломлення та поглинання тонких	2		3



	плівок.			
16	<b>Лекція 13.</b> Випромінювання світла наноструктурами. Випромінювальна рекомбінація в квантових ямах. Фотолюмінесценція в квантових ямах, точках, нитках. Електролюмінесценція в напівпровідникових структурах. Оптичне підсилення в діодах з гетеропереходами. Світлодіоди та лазери на подвійних гетероструктурах.	2		3
17	<b>Лекція 14.</b> Оптична мікроскопія наноструктур. Оцінка граничної величини роздільної здатності оптичного мікроскопу. Близько-польова оптична мікроскопія. Конфокальний мікроскоп. Особливості конфокальної мікроскопії. Фотолюмінесценція наноструктур.	2		3
18	<b>Лекція 15.</b> Розсіювання світла коливаннями решітки. Розсіювання світла коливаннями решітки. Комбінаційне розсіювання на оптичних фонах. Розсіювання на акустичних фонах (Мандельштама-Бріллюєна).	2		3

**Загальний обсяг 75 год.** в тому числі:

Лекцій – **30 год.**

Самостійна робота - **45 год.**

## **9. Рекомендовані джерела:**

### **Основна:**

1. С.В. Кондратенко. Фізика напівпровідників. – Київ, ТОВ Інтерсервіс, 2014. – 240 с.
2. John H. Davies. The physics of low-dimensional semiconductors. An introduction. – Cambridge university press, 1998. – 425 p.
3. Mark Fox. Optical properties of solids / Oxford University Press, 2001. – 281 p.

### **Додаткова:**

1. John H. Davies. The physics of low-dimensional semiconductors. An introduction. – Cambridge university press, 1998. – 425 p.
2. C. Klingshirn. Semiconductor optics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.