

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

Кафедра оптики



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Photovoltaics and optoelectronics semiconductor nanostructures

для аспірантів

галузь знань **10 Природничі науки**

спеціальність **104 Фізика та астрономія**

освітній рівень **доктор філософії**

освітня програма **Фізика та астрономія**

вид дисципліни **вибіркова**

Форма навчання

денна

Навчальний рік

2018/2019

Семестр

4

Кількість кредитів ECTS

4

Мова викладання, навчання
та оцінювання

українська

Форма заключного контролю

іспит

Викладачі: проф. Кондратенко С.В.

Пролонговано: на 2019/2020 н.р. _____ (Оліх О.Я.) «10» 05 2019 р. №21
(підпис, ПІБ, дата)

на 2019/2020 н.р. _____ (« » 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2018

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

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри оптики


(підпис)

(Поперенко Л.В.)
(прізвище та ініціали)

Протокол № _11 від «_01_» ___03_____ 2018 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «_16_» ___04_____ 2018 року №_12_

Голова науково-методичної комісії _____
(підпис) (Зеленський С.Є.)
(прізвище та ініціали)

«_____» _____ 2018 року

ВСТУП

1. Мета дисципліни – надати базові знання про принципи роботи сонячних елементів, основні їх фізичні властивості, методи виготовлення і дослідження, сучасні області їх застосування.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати основи фізики напівпровідників, квантової механіки, принципи теорії твердого тіла, основи нанoeлектроніки.
2. Вміти - вимірювати оптичні та електрофізичні параметри і характеристики матеріалів оптоелектроніки, аналізувати роботу напівпровідникових електронних схем з діодами, транзисторами, лазерами і фотодетекторами.
3. Володіти елементарними навичками аналізу роботи пристроїв твердотільної електроніки та нанoeлектроніки, приладів оптотехніки.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «Основи фотовольтаїки» присвячена вивченню основних типів сонячних елементів та фізичних процесів, покладених в основу їх роботи. Проведено аналіз нерівноважних процесів в об'ємі напівпровідників та бар'єрних структурах з електронно-дірковими переходами, бар'єрами Шотткі та в області просторового заряду поблизу поверхні напівпровідників. Детально розглянуто характеристики і фізичні основи роботи сонячних елементів на основі гетероструктур, варізонних, аморфних матеріалів, наноструктур.

Програма навчальної дисципліни складається з двох змістових модулів.

У межах першого змістовного модуля на лекціях розглядаються питання: вступ до фотовольтаїки; внутрішній фотоелектричний ефект в напівпровідниках; процеси фотогенерації та рекомбінації носіїв заряду в сонячних елементах; проводиться самостійне вивчення матеріалу описового характеру, вказаного лектором.

У межах другого змістовного модуля на лекціях розглядаються питання: фотоелектричний ефект в р-n переході; фотоелектричні ефекти в гетероструктурах та контакти метал-напівпровідник; принципи роботи вискоефективних сонячних елементів; проводиться самостійне вивчення матеріалу описового характеру, вказаного лектором.

4. Завдання (навчальні цілі): - ознайомлення студентів з оптичними та фотоелектричними властивостями матеріалів фотовольтаїки, з основними поняттями та ідеями сучасної фізики сонячних елементів, підготовка студентів до вивчення спеціальних оглядів та оригінальних робіт з окремих питань даної області. Ознайомлення із сучасними методами дослідження основних параметрів та властивостей сонячних елементів.

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	Принципи роботи сонячних елементів, а також основні типи процесів рекомбінації та генерації носіїв заряду в матеріалах фотовольтаїки.	Лекції	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань	10

2.1	Основи фізики нерівноважних процесів в сонячних елементах, основні параметри і характеристики сонячних елементів, принципи генерації фотоЕРС та фотопровідність в напівпровідниках, основні електричні, фотоелектричні та оптичні явища в фоточутливих бар'єрних структурах.	Лекції	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань, модульна контрольна робота	10
2.2	Застосувати набуті знання для оцінки коефіцієнту корисної дії сонячних елементів, основних параметрів і характеристик сонячних елементів, а також величин, що характеризують фотоелектричні явища в напівпровідниках і напівпровідникових структурах, вміти проводити відповідні виміри та розрахунки.	Лекції	Щотижневий контроль попереднього матеріалу, модульна контрольна робота	10
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,	10

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни	1	2
Програмні результати навчання		
1. Здатність розв'язувати типові спеціалізовані задачі в певній галузі професійної діяльності або у процесі навчання, що передбачає застосування положень і методів відповідної науки і характеризується певною невизначеністю умов.	+	+
2. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у певній галузі професійної діяльності або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів відповідної науки і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.	+	+
3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.	+	+
4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.	+	+
5. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.	+	+
6. Бути чіткими і однозначними, дозволяючи чітко окреслити зміст вимог до здобувача вищої освіти.	+	+
7. Бути діагностичними (тобто результати навчання повинні мати об'єктивні ознаки їх досягнення чи недосягнення).	+	+

ПРН 1.1. Знати основи методології та організації наукових досліджень.	+
ПРН 1.2. Знати основи теорії твердого тіла та процесів взаємодії	+

електромагнітного випромінювання з молекулами та кристалами.	
ПРН 1.3. Знати основи теорії та методики експериментальних досліджень елементарних збуджень молекул, кристалів та наночастинок.	
ПРН 1.4. Знати особливості будови, фізичних властивостей та елементарних збуджень наноструктур, теоретичних моделей, що застосовуються для їх опису та методів експериментального дослідження.	
ПРН 1.5. Знати основи основи теорії та методики експериментальних досліджень властивостей матеріалів..	+
ПРН 1.6. Знати принципи побудови низькорозмірних систем, сучасні експериментальні методи дослідження та діагностики низькорозмірних систем.	
ПРН 1.7. Знати теоретичні методи опису процесів розсіювання рентгенівських променів та нейтронів низькорозмірними системами.	
ПРН 1.8. Знати основи фізики напівпровідникових низькорозмірних систем, явища екранування носіїв заряду, приповерхневого квантування, основи ємнісної спектроскопії, процесів саморегулювання при одержанні та дослідження напівпровідникових низькорозмірних систем, включаючи квантові ями, дроти, точки, надгратки.	+
ПРН 1.9. Знати загальні методи представлення та передачі інформації та основні способи побудови локальних мереж та методи поєднання їх між собою.	
ПРН 1.10. Знати методи чисельних розрахунків і обробки результатів експериментів і спостережень.	+
ПРН 1.11. Знати методи отримання, особливості структури та властивості металевих систем.	
ПРН 1.12. Знати програмні пакети для розрахунку електронної та атомної структури матеріалів.	
ПРН 1.13. Знати дифракційні методи для дослідження неупорядкованих структур.	
ПРН 1.14. Знати методи отримання та відповідні особливості структури та властивостей функціональних матеріалів.	
ПРН 1.15. Знати експериментальні методи дослідження функціональних матеріалів.	
ПРН 1.16. Знати методи квантово-хімічних розрахунків.	
ПРН 1.17. Знати програмні пакети - GAUSSIAN, MATLAB, Mathematica, Origin.	+

ПРН 2.1. Здійснювати основні типи спектроскопічних досліджень зразків у конденсованому стані, обробляти та аналізувати результати таких досліджень.	+
ПРН 2.2. Застосовувати наявні та створювати нові теоретичні моделі для опису процесів взаємодії електромагнітного випромінювання з молекулами, кристалами та наночастинками.	+
ПРН 2.3. Здійснювати розрахунки енергетичного спектру електронних та коливальних елементарних збуджень молекул, кристалів та наночастинок.	
ПРН 2.4. Вміти формулювати фізичні принципи дифракції рентгенівських променів та нейтронів низькорозмірними системами; планувати та виконувати експеримент в галузі дослідження низькорозмірних систем;	
ПРН 2.5. Вміти оцінювати точність основних експериментальних методів спостереження дифракції рентгенівських променів та нейтронів низькорозмірними та нанорозмірними системами.	
ПРН 2.6. Вміти застосовувати знання із функціонування та діагностики низько розмірних напівпровідникових систем, планувати та виконувати фізичний експеримент в галузі фізики низькорозмірних напівпровідникових систем.	+
ПРН 2.7. Володіти методами кодування та стиснення даних, вміти визначати основні характеристики найпоширеніших технологій локальних мереж та критерії вибору маршруту доправлення пакетів.	
ПРН 2.8. Вміти обирати відповідні програмні пакети для розрахунків фізичних властивостей низькорозмірних систем.	
ПРН 2.9. Вміти оцінювати точність основних експериментальних методів спостереження дифракції рентгенівських променів.	
ПРН 2.10. Вміти встановлювати зв'язки між особливостями структури та властивостями металевих систем.	
ПРН 2.11. Вміти обирати відповідні програмні пакети для наукових розрахунків.	
ПРН 2.12. Вміти застосовувати квантово-хімічні розрахунки для органічних молекулярних систем.	
ПРН 2.13. Вміти проводити дослідження будови, конформації, електронних, коливних, фізико- механічних, радіаційних, радіобіологічних, радіоекологічних властивостей функціональних матеріалів.	
ПРН 3.1. Володіти здатністю презентувати результати своїх досліджень на наукових конференціях, семінарах, практично використовувати	

іноземну мову (в першу чергу - англійську) у науковій діяльності;	
ПРН 3.2. Формулювати висновки фізичних досліджень у формі, що відповідає можливостям сприйняття не спеціалістів.	+
ПРН.4.1. Аналізувати наукові праці, виявляючи дискусійні та мало досліджені питання;	
ПРН 4.2. Здійснювати моніторинг наукових джерел інформації відносно досліджуваної проблеми;	+
ПРН 4.3. Здійснювати процедуру встановлення цінності джерел наукової інформації шляхом порівняльного аналізу з іншими джерелами.	
ПРН 5.1. Знати ґрунтовні знання предметної області та розуміння професії;	+
ПРН 5.2. Знати праці провідних вчених та фундаментальні праці у галузі дослідження, формулювати мету власного наукового дослідження.	

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 аспірантів оцінюються за 100-бальною шкалою. Форми поточного контролю: оцінювання контрольних робіт, усних відповідей під час лекції, письмових та усних самостійних завдань. Модульний контроль: 2 модульні контрольні роботи, за які аспірант може отримати максимально **40 балів** (по **20 балів** за кожну роботу). Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі заліку, 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	практичні	Самостійна робота
Змістовий модуль 1				
1	Лекція 1. Вступ до фотовольтаїки. Мета та завдання курсу. Основні уявлення та визначення. Оцінка можливостей використання енергії сонячного випромінювання. Основні параметри і характеристики сонячних елементів. Ефективність перетворення сонячної енергії як функція ширини забороненої зони матеріалу.	2		6
2	Лекція 2. Фотовольтаїчні ефекти в напівпровідниках та бар'єрних структурах. Фотовольтаїчні ефекти в напівпровідниках. Загальні положення. Фізичні основи перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну. Фотоелектрорушійна сила (фотоЕРС) в однорідних матеріалах та бар'єрних структурах.	2		6
3	Лекція 3. Дифузія нерівноважних носіїв заряду. Дифузія нерівноважних носіїв заряду. Довжина дифузії. Амбіполярна дифузія. Коефіцієнт амбіполярної дифузії у власних та домішкових напівпровідниках. ФотоЕРС Дембера. Дрейф і просторове розділення нерівноважних носіїв заряду. Амбіполярний дрейф нерівноважних носіїв заряду. Довжина дрейфу. Дрейф пакету нерівноважних носіїв заряду в напівпровідниках з різним типом провідності.	2		8
4	Лекція 4. Вплив поверхні на ефективність фотоелектричного перетворення енергії сонячного випромінювання Електронна структура поверхні напівпровідника. Поверхнева рекомбінація та її вплив на основні параметри сонячних елементів. Швидкість поверхневої рекомбінації. Залежність швидкості поверхневої рекомбінації від поверхневого потенціалу. Поверхнева фотоЕРС. Методи вимірювання поверхневої фотоЕРС. Конденсаторна фотоЕРС. Процеси рекомбінації та захоплення нерівноважних носіїв заряду на поверхні.	2		6
5	Лекція 5. Генерація нерівноважних носіїв заряду в квантово-розмірних структурах Оптичне поглинання в нанорозмірних напівпровідниках. Енергетичний спектр квантово-розмірних структур. Міжзонні переходи в квантових ямах, квантових нитках та квантових точках. Рекомбінація нерівноважних носіїв заряду. Механізми рекомбінації. Випромінювальна і безвипромінювальна рекомбінація. Рекомбінація через дефекти і домішки. Статистика Шоклі-Ріда.	2		8
Змістовий модуль 2				
8	Практичне заняття 1. Електричні властивості р-п переходу Електричні властивості р-п переходу. Вольт-амперна характеристика в темноті та при освітленні. Потенціальний бар'єр р-п переходу.		2	6

9	Лекція 6. Фотоефекти у р-п переході Просторове розділення нерівноважних носіїв заряду в області просторового заряду р-п переходу. Рівняння неперервності. Спектральні залежності фотоЕРС та фотоструму.	2		8
10	Лекція 7. Фотовольтаїчні ефекти в бар'єрі Шотткі. Контакт метал-напівпровідник. Бар'єр Шотткі. Вольта-амперна характеристика в темноті та при освітленні. Внутрішня електронна фотоемісія в бар'єрі Шотткі.	2		6
11	Лекція 8. Сонячні елементи на основі гетеропереходів. Гетеропереходи I та II типу. Розмірне квантування в гетероструктурах. Фотоелектричний ефект у гетеропереході. «Ефект вікна» гетеропереходу. Сонячні елементи на основі аморфних напівпровідників. Електронний спектр та поглинання світла в аморфних напівпровідниках. Оптичне поглинання в неоднорідних напівпровідниках. Правило Урбаха.		2	8
13	Практичне заняття 2. Сонячні елементи на основі варізонних напівпровідників та гетеропереходів. Варізонні напівпровідники. Зонна діаграма варізонних напівпровідників. ФотоЕРС та фотопровідність у варізонних напівпровідниках та варізонних гетеропереходах.		2	6
14	Лекція 9. Сонячні елементи з наноструктурованими плівками та нанорозмірними об'єктами (квантовими ямами, квантовими точками та ін.). Тандемні елементи. Параметри та характеристики третього покоління сонячних елементів. Основні параметри та характеристики сонячних елементів третього покоління. Коефіцієнт корисної дії сонячних елементів. Максимальний коефіцієнт корисної дії.	2		8
ВСЬОГО		18	4	96

Загальний обсяг 120 год., в тому числі:

Лекцій – 18 год.

Практичні заняття – 4 год.

Консультації – 2 год.

Самостійна робота - 96 год.

9. Рекомендовані джерела:

Основна:

1. Мартинес-Дуарт Дж. М., Мартин-Палма Р.Дж. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. – М. Техносфера, 2007. – 368 с.
2. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. В 2 кн. М.: Мир, 1984.
3. Л.Е.Воробьев, Е.Л.Ивченко, Д.А.Фирсов, В.А.Шалыгин. Оптические свойства наноструктур: Учеб. пособие / Под. ред. Е.Л.Ивченко и Л.Е.Воробьева СПб. Наука, 2001. – 188 с.
4. Мосс Т., Баррел Г., Эллис Б. Полупроводниковая оптоэлектроника. – М.: Мир, 1976.– 430 с.
5. Peter Würfel. Physics of Solar Cells From Principles to New Concepts WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, KGaA, Weinheim , 2005.
6. М.А. Green Third Generation Photovoltaics Advanced Solar Energy Conversion, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

Додаткова:

1. Р. Бьюб. Фотопроводимость твердых тел.– М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. – 558 с.
2. Т.Мосс. Оптические свойства полупроводников.– М.: Наука, 1990.– 304 с.
3. В.В.Сердюк, Г.Г.Чемересюк. Фотоэлектрические процессы в полупроводниках. – К. Либідь, 1993. – 190 с.
4. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников. – М.: Изд-во “Наука”, 1977. – 672 с.
5. С.М.Рывкин. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. – М., Физматгиз, 1963. – 496 с.
6. В.Шокли. Теория электронных полупроводников. – М. Издательство иностранной литературы, 1953. – 714 с.
7. Я.Тауц. Фото- и термоэлектрические явления в полупроводниках. – М. Издательство иностранной литературы, 1962. – 254 с.
8. Е.А.Сальков. Основы полупроводниковой фотоэлектроники. К. Наукова думка, 1988. – 280 с.
9. А.Милнс, Д.Фойхт. Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник. – М. Мир, 1975. – 432 с.
10. А.Фаренбрух, Р.Бьюб. Солнечные элементы: теория и эксперимент. – М. Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
11. В.В.Сердюк. Физика солнечных элементов. – О. Логос, 1994. – 365 с.