

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА
Кафедра фізики та астрономії



“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Проректор з науково-педагогічної роботи
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
Вересень 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВБ 8.1. «Фізика напівпровідників і напівпровідникових приладів»

Рівень вищої освіти	перший (освітньо-професійний)
Галузь знань	10 – Природничі науки
Спеціальність	104 - Фізика та астрономія
Освітньо-професійна програма	Фізика та астрономія

Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика напівпровідників і напівпровідникових приладів». – Одеса: ОНУ, 2022. – 19с.

Розробник: Чебаненко Анатолій Павлович , кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та астрономії


Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики та астрономії ФМФІТ

Протокол № 1 від «5» вересня 2022 р.

Завідувач кафедри



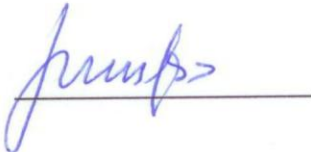
Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПП «Фізика та астрономія»  Юрієм НІЦУКОМ

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від «6» вересня 2022 р.

Голова НМК


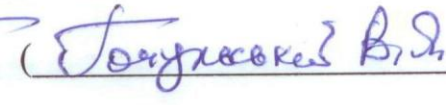


Наталя МАСЛЄЄВА

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № 1 від «29» 08 2024 р.

Завідувач кафедри

 ()

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___ від «___» _____ 20__ р.

Завідувач кафедри

_____ (_____)

2. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Очна (денна) форма навчання
Загальна кількість кредитів – 6 годин – 180 змістовних модулів - 2	Галузь знань 10 – Природничі науки Спеціальність: 104 – Фізика та астрономія Рівень вищої освіти: <u>Перший (освітньо-професійний)</u>	Вибіркова дисципліна
		Рік підготовки:
		4-й
		Семестр
		7-й
		Лекції
		50 год.
		Практичні, семінарські
		-
		Лабораторні
		40 год.
		Самостійна робота
		90 год.
Форма підсумкового контролю: іспит		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є підготовка фахівців, здатних розв'язувати спеціалізовані складні задачі і практичні проблеми, пов'язані з дослідженням процесів та явищ в області фізики напівпровідників у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що характеризуються комплексністю і невизначеністю умов та передбачають застосування певних теорій і методів фізики напівпровідників.

Завдання:

- Ознайомити здобувачів першого рівня вищої освіти з основами зонної теорії напівпровідників, статистикою носіїв заряду, механізмами розсіяння носіїв заряду в напівпровідниках, основними оптичними, люмінесцентними та фотоелектричними явищами, теорією контакту метал-напівпровідник та *p-n*-переходу, фізичними основами функціонування різноманітних напівпровідникових приладів: діодів, біполярних та польових транзисторів, приладів з зарядовим зв'язком, багатошарових напівпровідникових структур та інших пристроїв сучасної напівпровідникової електроніки.
- Сформуванати у здобувачів першого рівня вищої освіти уміння використовувати теоретичні положення фізики напівпровідників для пояснення та аналізу фізичних процесів, що відбуваються в напівпровідниках та напівпровідникових структурах.
- Сформуванати у здобувачів першого рівня вищої освіти уміння проводити експериментальні дослідження напівпровідників, обробку та аналіз експериментальних результатів, навчити основним способам розв'язування теоретичних задач з фізики напівпровідників.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**.

Інтегральна компетентність:

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

Загальні компетентності:

К2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

К4. Здатність бути критичним і самокритичним.

К5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

К7. Навички здійснення безпечної діяльності.

К8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

Спеціальні (фахові) компетентності:

К18. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

К19. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

К23 Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи.

К24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

К26. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.

К28. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

В результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен знати:

- модельні уявлення про механізми власної та домішкової електропровідності напівпровідників,
- поняття про зонну теорію твердого тіла,
- статистику носіїв заряду в напівпровідниках,
- уявлення про теплові коливання атомів кристалічної решітки та механізми розсіяння носіїв заряду в напівпровідниках,
- механізми поглинання напівпровідниками електромагнітного випромінювання,
- основні фотоелектричні явища та механізми люмінесценції у напівпровідниках,
- теорію запірного та омічного контакту метал-напівпровідник, теорію електронно-діркового $p-n$ –переходу,

- будову, принцип дії основних типів напівпровідникових діодів, біполярних та польових транзисторів, їх характеристики, застосування гетеропереходів для створення приладів напівпровідникової електроніки.

Вміти:

- записувати і аналізувати основні співвідношення, що описують концентрації носіїв заряду в напівпровідниках; положення рівня Фермі та його залежність від температури, форму краю оптичного поглинання, основні співвідношення для фотопровідності напівпровідників та її залежності від енергії, інтенсивності електромагнітного опромінення, температури; співвідношення для контакту метал-напівпровідник та для *p-n* –переходу,
- формулювати основні означення фізики напівпровідників та основних параметрів напівпровідникових приладів, аналізувати їх залежність від різноманітних технологічних і зовнішніх факторів,
- експериментально досліджувати електричні, фотоелектричні та оптичні властивості напівпровідників, характеристики основних напівпровідникових приладів, аналізувати отримані результати та розраховувати із них параметри напівпровідників та напівпровідникових приладів,
- здійснювати пошук навчальної, наукової та довідкової літератури та інформаційних ресурсів.

Що забезпечують наступні **програмні результати навчання:**

ПР03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

ПР08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

ПР09. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.

ПР11 Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПР22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.

3. Зміст навчальної дисципліни

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.

СТАТИСТИКА НОСІЇВ ЗАРЯДУ, ЯВИЩА ПЕРЕНЕСЕННЯ, ОПТИЧНІ, ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПІВПРОВІДНИКІВ

Тема 1. Напівпровідники, загальна характеристика. Етапи розвитку фізики напівпровідників та напівпровідникової електроніки. Класифікація твердих тіл за електропровідністю. Кристалічні структури, близький та далекий порядок, елементарна чарунка, кристалічна решітка. Модельні уявлення про механізми електропровідності напівпровідників, власна та домішкова електропровідність. Елементарна теорія електропровідності напівпровідників.

Тема 2. Основи зонної теорії напівпровідників. Рівняння Шредінгера для кристалу. Адіабатичне наближення. Одноелектронне наближення, самоузгоджене поле. Модель Кроніга-Пенні. Зонна структура енергетичного спектру носіїв заряду в кристалі. Кількість енергетичних станів електронів в дозволених зонах. Квазіімпульс. Зони Бриллюена. Ефективна маса носіїв заряду. Елементарна теорія домішкових станів, модель Мотта.

Тема 3. Статистика електронів і дірок у напівпровідниках. Розподіл густини квантових станів в зонах. Функція розподілу Фермі-Дірака. Розподіл

Максвелла-Больцмана. Рівноважні концентрації електронів і дірок в зонах. Розподіл електронів і дірок на домішкових рівнях. Залежність положення рівня Фермі від температури у власному напівпровіднику. Залежність положення рівня Фермі від температури у напівпровіднику, що містить домішки. Поняття про вироджені напівпровідники, домішкові зони.

Тема 4. Теплові коливання атомів кристалічної решітки. Коливання одноатомного лінійного ланцюжка. Коливання двоатомного лінійного ланцюжка, частоти коливань. Акустична і оптична гілки коливань. Теплові коливання атомів трьохвимірної решітки. Фонони.

Тема 5. Розсіяння носіїв заряду в напівпровідниках. Кінетичне рівняння Больцмана. Стаціонарний стан. Рівноважний стан. Час релаксації. Розсіяння на іонах домішки. Ефективний переріз розсіяння. Типи центрів розсіяння. Розсіяння на іонах домішки, атомах домішки та дислокаціях. Розсіяння на теплових коливаннях решітки. Питома електропровідність. Залежність рухливості носіїв заряду від температури. Кінетичні явища.

Тема 6. Оптичні явища в напівпровідниках. Механізми поглинання напівпровідниками електромагнітного випромінювання. Власне поглинання при прямих переходах. Власне поглинання при непрямих переходах. Поглинання сильно легованих та аморфних напівпровідників. Вплив зовнішніх факторів (температури, тиску, електричного і магнітного поля) на власне поглинання. Екситонне поглинання. Поглинання вільними носіями заряду. Домішкове поглинання. Решіткове поглинання.

Тема 7. Люмінесценція напівпровідників. Типи люмінесценції. Рекомбінаційне випромінювання при фундаментальних переходах. Екситонна рекомбінація. Випромінювальна рекомбінація при переходах між зоною та домішковими рівнями. Напівпровідникові лазери: принцип дії, поріг генерації, ефективність, спектри, модуляція.

Тема 8. Фотоелектричні явища в напівпровідниках. Рівноважні та нерівноважні носії заряду. Фотопровідність, основні поняття. Ймовірність теплового звільнення носія з домішкового центру. Швидкість теплового

звільнення, швидкість рекомбінації. Квазірівні Фермі. Центри прилипання та центри рекомбінації. Демаркаційні рівні. Залежність фотопровідності від зовнішніх факторів та від параметрів напівпровідника. Фотострум. Спектральний розподіл фотоструму. Люкс-амперні характеристики фотоструму. Температурна залежність фотоструму. Кінетика фотоструму

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2.

КОНТАКТНІ ЯВИЩА У НАПІВПРОВІДНИКАХ. ОСНОВНІ ВИДИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ

Тема 1. Контактні явища в напівпровідниках. Термодинамічна робота виходу. Формула Річардсона. Контакт метал-напівпровідник. Контактна різниця потенціалів. Бар'єр Шоттки. Діодна і дифузійна теорії випрямлення струму. Омичний контакт метал-напівпровідник. Контакт електронного і діркового напівпровідника (*p-n*-перехід). *p-n*-перехід в стані рівноваги. *p-n*-перехід при прямому зміщенні, інжекція, вольт-амперна характеристика. Ємність *p-n*-переходу. Перехідні процеси в *p-n*-переході. *p-n*-перехід при освітленні.

Тема 2. Напівпровідникові діоди. Характеристики ідеального діоду: випрямлення в діоді, характеристичний опір, еквівалентна схема. Вплив генерації, рекомбінації і об'ємного опору бази на характеристики реальних діодів. Перехідні процеси в напівпровідникових діодах. Стабілітрони. Параметричні діоди. Тунельні та обернені діоди. Лавинно-пролітні діоди. Фотодіоди. Світлодіоди.

Тема 3. Біполярні транзистори. Будова та принцип дії біполярного транзистора (БТ). Основні параметри БТ. Фактори, що впливають на коефіцієнт передачі струму БТ. Швидкодія БТ. Високочастотні параметри БТ. Вольт-амперні характеристики БТ у схемі із спільною базою. Одноперехідні транзистори. Дрейфові транзистори. Фототранзистори.

Тема 4. Польові транзистори. Принцип дії польового транзистора (ПТ). Модель Шоклі для ПТ з *p-n*-переходом в якості затвору. Вольт-амперна характеристика ПТ, та її крутизна. Структури метал-діелектрик-

напівпровідник (МДН). Структури МДН, як одна із основних структур сучасної напівпровідникової електроніки. Основні типи польових транзисторів.

Тема 5. Гетероструктури. Гетеропереходи: енергетичні діаграми та особливості протікання струму. Гетероструктури як сучасний елемент зонної інженерії. Гетероструктурні біполярні транзистори (ГБТ). Гетероструктурні польові транзистори (ГПТ).

4. Структура навчальної дисципліни «Фізика напівпровідників і напівпровідникових приладів»

Назва тем	Кількість годин				
	Очна (денна) форма				
	Усього	у тому числі			
		Лек.	Пр.	Лаб.	СР
1	2	3	4	5	6

Змістовий модуль 1. Статистика носіїв заряду, явища перенесення, оптичні, люмінесцентні та фотоелектричні властивості напівпровідників

Тема 1. Напівпровідники, загальна характеристика.	4	2	-	-	2
Тема 2. Основи зонної теорії напівпровідників	16	4	-	4	8
Тема 3. Статистика електронів і дірок у напівпровідниках	14	4	-	-	8
Тема 4. Теплові коливання атомів кристалічної решітки.	8	2	-	-	4
Тема 5. Розсіяння носіїв заряду в напівпровідниках	18	4	-	4	8
Тема 6. Оптичні явища в напівпровідниках.	14	4	-	8	5
Тема 7. Люмінесценція напівпровідників	11	3	-	4	5
Тема 8. Фотоелектричні явища в напівпровідниках	11	3	-	4	6

Змістовий модуль 2. Контактні явища у напівпровідниках. Основні види напівпровідникових приладів

Тема 1. Контактні явища в	18	9	-	-	10
---------------------------	----	---	---	---	----

напівпровідниках					
Тема 2. Напівпровідникові діоди	22	4	-	12	8
Тема 3. Біполярні транзистори.	18	4	-	4	10
Тема 4. Польові транзистори	14	4	-	-	8
Тема 5. Гетероструктури	12	3	-	-	8
Усього годин	180	50	-	40	90

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачені навчальним планом

7. Теми лабораторних робіт

№	Назва теми (в методичних вказівках)	Кількість годин
1	Визначення ширини забороненої зони і енергетичного положення локальних центрів у напівпровіднику із температурної залежності провідності.	4
2	Дослідження ефекту Холла .	4
3	Дослідження форми краю оптичного поглинання напівпровідників .	4
4	Дослідження дисперсії світла в напівпровідниках інтерференційними методами .	4
5	Дослідження спектрів випромінювання фотолюмінесценції .	4
6	Дослідження спектрального розподілу фотоструму у напівпровідниках.	4
7	Визначення параметрів випрямлювальних напівпровідникових діодів	4
8	Дослідження опорного діоду	4
9	Вивчення роботи фотодіоду	4
10	Дослідження статичних характеристик біполярних транзисторів	4
Разом		40

8. Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
---	------------	-----------------

1	Типи кристалічних решіток. Решітки типу алмазу. Елементарна теорія електропровідності напівпровідників	2
2	Навести розв'язок рівняння Шредінгера в рамках моделі Кроніга-Пенні. Виходячи з умови циклічності Борна-Кармана, навести розрахунок кількості квантових станів електрона всередині дозволеної зони. Циклотронний резонанс. Метод ефективної маси. Елементарна теорія домішкових станів . Умови виконуваності теорії Мотта.	8
3	Навести розрахунки енергетичного положення рівня Фермі та концентрації вільних носіїв заряду для напівпровідника p – типу. Навести розрахунки енергетичного положення рівня Фермі в компенсованому напівпровіднику. Проаналізувати його температурну залежність. Навести розрахунок концентрації вільних електронів в зоні провідності для виродженого напівпровідника.	8
4	Статистика фононів. Теплоємність кристалічної решітки.	4
5	Дрейф і дифузія носіїв струму. Співвідношення Енштейна. Рівняння неперервності та час максвеллівської релаксації. Ефект Холла. Умова слабого магнітного поля. Явище Зеєбека, ефект Пельтьє та ефект Томсона. Електропровідність напівпровідників в сильних електричних полях.	8
6	Поглинання сильно легованих та аморфних напівпровідників. Вплив зовнішніх факторів на власне поглинання напівпровідників. Рівняння Шредінгера для електронно-діркової пари, його розв'язок. Власні значення енергії екситона.	5
7	Механізм внутрішньоцентрової люмінесценції. Модель конфігураційних кривих. Характерні ознаки люмінесценції за моделями Шена-Клазенса, т Пренера-Еппла-Вільямса. Будова та принцип дії напівпровідникових лазерів. Поріг генерації. Спектри випромінювання, модуляція	5
8	Кінетика фотоструму у напівпровіднику n -типу, що містить моноенергетичні пастки для електронів. Люкс-амперні характеристики фотоструму у напівпровіднику, що містить центри прилипання та центри рекомбінації.	6

9	Дифузійна теорія випрямлення в контакті метал-напівпровідник з бар'єром Шотткі. Омічний контакт метал-напівпровідник.	8
10	Технологічні методи отримання напівпровідникових діодів. Високочастотні, надвисокочастотні та імпульсні діоди. Застосування тунельних діодів для підсилення і генерації електричних коливань. Параметричні діоди.	10
11	Схеми увімкнення біполярного транзистора. Отримати вираз для коефіцієнта передачі струму біполярного транзистора. Одноперехідний транзистор. Дрейфовий транзистор. Фототранзистор.	10
12	Польовий МН-транзистор. Польовий транзистор з бар'єрами Шоттки в якості витоку та стоку. Польові МОН-транзистори як елементи пам'яті. Польовий тонкоплівковий транзистор. Прилади з зарядовим зв'язком як елементи пам'яті.	8
13	Гетероструктурні світлодіоди та сонячні фотоелементи. Варизонні гетероструктури, надрешітки. Перетворювачі ІЧ-зображень. Гетероструктурні уніполярні випрямлювачі. Гетероструктурні біполярні транзистори. Гетероструктурні польові транзистори.	8
	Разом	90

9. Методи навчання

Під час вивчення навчальної дисципліни використовують такі форми роботи – лекція, лабораторна робота, самостійна робота.

Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод; інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий метод.

Під час лабораторних занять використовуються наступні методи навчання частково-пошуковий, або евристичний метод; дослідницький, при захисті лабораторних робіт та індивідуальних завдань використовується дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод (студент опановує літературу за вказаною темою, робить презентацію або доповідь).

10. Форми контролю та методи оцінювання

Поточний контроль здійснюється за результатами виконання 2 контрольних робіт за змістовими модулями. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування на лекції, написання звітів до лабораторних робіт та їх захист а також самостійна робота. Підсумковий контроль - іспит.

Критерії оцінювання виконання самостійної роботи

Результати вивчення теми представляються у вигляді доповіді (5-7 хв) або презентації (3-5 слайдів). Критеріями оцінювання є: повнота представленого матеріалу, якість доповіді або презентації, відповідей на запитання викладача та однокурсників.

Критерії оцінювання виконання лабораторних робіт

Студент повинен виконати всі лабораторні роботи. За виконання розрахунків та оформлення роботи згідно вимог методичних вказівок до лабораторних робіт нараховується 8 балів за кожну роботу. При захисті роботи, за кожну правильну відповідь на запитання додається 2 бали. За неповну відповідь, відповідь, що містить несуттєві помилки додається 1 бал. За неправильну відповідь, або її відсутність бали не додаються. Максимальна кількість балів за лабораторну роботу не повинна перевищувати 15 балів. При виставленні підсумкової оцінки береться середня арифметична оцінка за всіма лабораторними роботами.

Критерії оцінювання підсумкового контролю

Підсумковий семестровий контроль (іспит) проводиться в усній формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 15 бальною шкалою.

Критерії оцінювання теоретичного питання:

- повна розгорнута відповідь – 15 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь – 12 балів;

- повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 10 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 8 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Кількість балів, що здобувач отримав на іспиті, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена нижче (п.12).

11. Питання для підготовки для поточного та підсумкового контролю.

1. Модельні уявлення про механізм власної та домішкової електропровідності напівпровідників.
2. Елементарна теорія провідності напівпровідників.
3. Рівняння Шредінгера для кристалу. Адіабатичне наближення. Одноелектронне наближення. Самоузгоджене поле. Модель Кроніга-Пенні.
4. Зонна структура енергетичного спектру електронів в кристалі. Залежність енергії електрона від хвильового вектора.
5. Квазіімпульс електрона. Ефективна маса.
6. Розподіл густини квантових станів в дозволених енергетичних зонах напівпровідника.
7. Функції розподілу Фермі-Дірака та розподілу Максвелла-Больцмана для електронів і дірок.
8. Функції розподілу електронів та дірок на рівнях донорів і акцепторів. Концентрації електронів і дірок на донорних та акцепторних центрах
9. Розрахунок концентрацій рівноважних носіїв заряду в дозволених зонах напівпровідника.
10. Положення рівня Фермі у власному напівпровіднику та його залежність від температури.
11. Положення рівня Фермі у напівпровіднику, що містить донори та його залежність від температури.

12. Теплові коливання кристалічної решітки. Фонони.
13. Кінетичне рівняння Брльцмана.
14. Розсіяння носіїв заряду на іонах домішки та атомах домішки.
15. Залежність рухливості носіїв заряду від температури.
16. Оптичне поглинання у напівпровідниках. Коефіцієнт поглинання. Закони збереження при оптичних переходах.
17. Прямозонні та непрямозонні напівпровідники. Прямі та непрямі, дозволені та заборонені оптичні переходи.
18. Спектри власного поглинання при прямих оптичних переходах.
19. Спектри власного поглинання при непрямих оптичних переходах.
20. Екситонне поглинання та поглинання вільними носіями заряду. Вигляд спектрів поглинання.
21. Домішкове поглинання та решіткове поглинання.
22. Випромінювальна рекомбінація при фундаментальних переходах.
23. Модель домішкової випромінювальної рекомбінації при прямому збудженні центрів світіння.
24. Моделі домішкової випромінювальної рекомбінації при непрямому збудженні центрів світіння .
25. Питома фотопровідність, швидкість фотозбудження, квантовий вихід., час життя носіїв заряду та поперечний переріз захоплення носіїв.
26. Ймовірність теплового звільнення носіїв заряду з домішкового центру. Швидкість теплового звільнення носіїв з домішкового центру.
27. Центри прилипання та центри рекомбінації. Швидкість захоплення носіїв заряду на домішковий центр. Швидкість рекомбінації на домішковому центрі.
28. Квазірівні Фермі для електронів і дірок, залежність їх положення в забороненій зоні від температури та освітлення.
29. Спектральний розподіл фотоструму. Люкс-амперні характеристики та температурне гасіння фотоструму.
30. Контактна різниця потенціалів. Контакт метал-напівпровідник з бар'єром Шотткі в стані рівноваги.
31. Діодна теорія випрямлення в бар'єрі Шотткі.
32. Р-П-перехід в рівновазі: енергетичні діаграми, розподіл концентрацій вільних носіїв заряду, рівноважна висота бар'єру.
33. Розв'язок рівняння Пуассона для тонкого різкого Р-П-переходу.
34. Р-П-перехід за наявності зміщення. Концентрації неосновних носіїв заряду на зовнішніх межах переходу.
35. Вольт-амперна характеристика тонкого Р-П-переходу.
36. Р-П-перехід при освітленні. Фотодіоди

37. Випрямлювальні діоди.
38. Опорні діоди.
39. Тунельні діоди, обернені діоди.
40. Будова та принцип дії біполярного транзистора. Вольт-амперні характеристики біполярного транзистора.
41. Коефіцієнт передачі струму, дифузійні ємності та частотні властивості біполярного транзистора.
42. Будова та принцип дії польового транзистора з Р-П-переходом в якості затвору.
43. Основні параметри польових транзисторів.
44. Польові МОН-транзистори.
45. Гетероструктурні біполярні та польові транзистори.

12. Розподіл балів, які отримують здобувачі

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання									Підсумковий контроль (Іспит)	Сума балів			
Змістовий модуль 1 Поточний контроль на лекціях								Контрольна робота	Індивідуальні завдання	Виконання і захист лабораторних робіт	Разом		
Т 1	Т 2	Т 3	Т 4	Т 5	Т 6	Т 7	Т 8						
1	1	1	1	1	1	1	1	10	2	15			
Змістовий модуль 2 Поточний контроль на лекціях											70	30	100
Т 1	Т 2	Т 3	Т 4	Т 5									
2	1	2	2	1				10	2	15			

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою		
	Оцінка ЄКТС	для для екзамену, курсового проекту (роботу), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно	не зараховано
1-34	F		

13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; силабус, конспекти лекцій; презентації; методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, первинний інструктаж з техніки безпеки, порядок виконання лабораторної роботи, інструкції до приладів: <http://onu.edu.ua/uk/structure/faculty/fmfit/dystsypliny>, <http://phys.onu.edu.ua>, <http://lib.onu.edu.ua>

14. Рекомендована література

Основна

1. Попик Ю.В. Фізика напівпровідників : підручник. Ужгород : ТОВ ІВА, 2014. 820 с.
2. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників : підручник. Київ : ВПЦ Київський ун-т, 2007. 338 с.
3. Царенко О.М. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів : навч. посіб. Кіровоград : РВВ КДПУ імені В. Винниченка, 2011. 243 с.
4. Фреїк Д.М., Чобанюк В.М., Готра З.Ю., Дзундза Б.С., Матеїк Г.Д., Ткачук А.І. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки : навч. посіб. Івано-Франківськ : Вид-во Прикарпатського НУ ім. В. Стефаника, 2010. 263 с.

5. Чебаненко А.П., Каракіс Ю.М. Фізика напівпровідників. Частина 1. Параметри і статистика носіїв заряду : навч.-метод. посіб. Одеса : ОНУ, 2019. 68 с.
6. Чебаненко А.П., Каракіс Ю.М. Фізика напівпровідників. Частина II. Рекомбінація носіїв заряду : навч.-метод. посіб. Одеса : ОНУ, 2020. 68 с.
7. Чебаненко А.П., Каракіс Ю.М. Фізика напівпровідників. Частина III. Процеси захоплення носіїв заряду : навч.-метод. посіб. Одеса : ОНУ, 2021. 60 с.
8. Чебаненко А.П., Конопельська Н.В., Каракіс Ю.М. Фізика напівпровідників та напівпровідникових приладів. Частина 1. Фізика напівпровідників : методичні вказівки. Одеса : ОНУ, 2019. 67 с.
9. Чебаненко А.П., Конопельська Н.В., Каракіс Ю.М. Фізика напівпровідників та напівпровідникових приладів. Частина 2. Фізика напівпровідникових приладів : методичні вказівки. Одеса : ОНУ, 2019. 62 с.

Додаткова

1. Попик Т.Ю., Попик Ю.В., Хархаліс Л.Ю. Фізика напівпровідників, лабораторний практикум : навч. посіб. Ужгород : ТОВ ІВА, 2015. 344 с.
2. Поплавко Ю.М., Ільченко В.І., Воронов С.А., Якименко В.І. Фізичне матеріалознавство. Частина 4. Напівпровідники : навч. посіб. Київ : Вид-во Політехніка НТУ України, 2010. 342 с.
3. Ковальов В.О., Телюта Р.В., Плешков С.П. Основи електроніки та мікросхемотехніки : навч. посіб. Кропивницький : РВЛ ЦНТУ, 2018. 197 с.
4. Готра З.Ю. Технологія електронної техніки : навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2010. 888 с.

15. Електронні інформаційні ресурси

1. <http://dspace.onu.edu.ua/>
2. phys.onu.edu.ua