

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

Кафедра експериментальної фізики



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи

О.В.Запорожченко

2020 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика напівпровідників і напівпровідникових приладів

Рівень вищої освіти перший рівень (бакалавр)

Галузь знань 10 – природничі науки

Спеціальності 105-прикладна фізика та наноматеріали;

104-фізика та астрономія;

014-середня освіта (фізика)

Освітні програми Прикладна фізика та наноматеріали, Фізика та астрономія,

Середня освіта (фізика)

Вид дисципліни обов'язкова, вибіркова

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

2020 – 2021 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою Радою факультету математики, фізики та інформаційних технологій «3» вересня 2020 року, Протокол №1

Розробники програми:

кандидат фізико-математичних наук, доцент Чебаненко А.П..

Навчальна програма затверджена на засіданні кафедри експериментальної фізики Протокол № 1 від “31” серпня 2020 року

Завідувач кафедри


(підпис)

Сминтина В.А.
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено навчально-методичною комісією (НМК) ФМФІТ:

Протокол № 1 від “ 3 ” вересня _____ 2020 року

Голова НМК


(підпис)

Ніцук Ю.А.
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Фізика напівпровідників і напівпровідникових приладів» складена відповідно до освітньо-професійних програм підготовки першого (освітньо-професійного) рівня вищої освіти (бакалавр). Галузь знань: 10 – «Природничі науки». Спеціальності: 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», 104 – Фізика та астрономія, 014 – Середня освіта (фізика).

Освітньо-професійні програми: «Прикладна фізика та наноматеріали», «Фізика та астрономія», «Середня освіта (фізика)».

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є: надати майбутнім фахівцям необхідних теоретичних та практичних знань щодо основ зонної теорії напівпровідників, основних електричних властивостей напівпровідників, статистики носіїв заряду в напівпровідниках, механізмів розсіяння носіїв заряду в напівпровідниках, основних оптичних, люмінесцентних та фотоелектричних явищ в напівпровідниках, теорії контакту метал-напівпровідник та *p-n*-переходу, фізичних основ функціонування, будови та основних характеристик різноманітних напівпровідникових приладів: діодів, біполярних та польових транзисторів, приладів з зарядовим зв'язком, багат шарових напівпровідникових структур та інших пристроїв сучасної електроніки.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є: формування у студентів вміння використовувати теоретичні положення фізики напівпровідників для пояснення та аналізу фізичних процесів, що відбуваються в напівпровідниках та напівпровідникових структурах. Вивчення дисципліни передбачає отримання знань та вмінь, які необхідні бакалавру в його майбутній професійній діяльності. Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних компетентностей:

Інтегральна компетентність (ІК) - здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми фізики та астрономії, прикладної фізики, що передбачає застосування теорій та методів фізики, математики та інженерії й характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані практичні завдання в галузі середньої освіти, що передбачає застосування концептуальних методів освітніх наук, психології, теорії та методики навчання і характеризується комплексністю та невизначеністю умов організації освітнього процесу в закладах середньої освіти.

Загальні компетентності:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК1);
- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК2);
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК 7).

Спеціальні компетентності:

- Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їх результатів(СК2);
- Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій (СК5);
- Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем (СК6).
- Здатність використовувати систематизовані теоретичні й практичні знання з фізики та методики навчання фізики у вирішенні професійних завдань (ПК1).

1.3. Кількість кредитів 6

1.4. Загальна кількість годин 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Обов'язкова, за вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
4-й
Лекції
48 год.
Практичні/семінарські

Лабораторні
32
Самостійна робота
100 год.
У тому числі індивідуальні завдання
-

1.6. Заплановані результати навчання:

Згідно з освітньо-професійними програмами «Прикладна фізика та наноматеріали», «Фізика та астрономія», «Середня освіта (фізика) спеціальностей 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», 104 – Фізика та астрономія», 014 – «Середня освіта (фізика)» студенти можуть досягти наступних результатів навчання:

Володіти методами і технікою експериментальних досліджень електричних, фотоелектричних та оптичних властивостей напівпровідників, методами аналізу отриманих результатів та розрахунку із них параметрів напівпровідників та напівпровідникових приладів.

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 омичного контакту метал-напівпровідник, теорію електронно-діркового (р-п)-переходу; будову, принцип дії основних типів напівпровідникових діодів, біполярних та польових транзисторів, їх характеристики, застосування гетеропереходів для створення приладів напівпровідникової електроніки.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

4 рік

Розділ 1. Статистика носіїв заряду та явища переносу у напівпровідниках

Тема 1. Напівпровідники, загальна характеристика. Етапи розвитку фізики напівпровідників та напівпровідникової електроніки. Класифікація твердих тіл за електропровідністю. Кристалічні структури, близький та далекий порядок, елементарна ґратка, 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 Кроніґа-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.

Розділ 2. Оптичні, люмінесцентні та фотоелектричні явища у напівпровідниках.

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 юмінесценції. 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 не рівноважні 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.

Розділ 3. Контактні явища у напівпровідниках та основні види напівпровідникових приладів

Тема 9. 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 10. 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 11. 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 з спільною базою. Одноперехідні транзистори. Дрейфові транзистори. Фототранзистори.

Тема 12. 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 13. Гетероструктури. Гетеропереходи: енергетичні діаграми та особливості протікання струму. Гетероструктури як сучасний елемент зонної інженерії.. Гетероструктурні біполярні транзистори (ГБТ). Гетероструктурні польові транзистори (ГПТ).

3. Структура навчальної дисципліни

Тема	Кількість годин					
	Усього	Лекц.	Практ.	Лаб.	Інд.	СР
1	2	3	4	5	6	7

Розділ 1. Статистика носіїв заряду та явища переносу у напівпровідниках

Тема1. 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	6	-	-	-	8
Тема4. Теплові коливання атомів кристалічної решітки.	8	2	-	-	-	6
Тема 5. Розсіяння носіїв заряду в напівпровідниках.	18	4	-	4		10

Розділ 2. Оптичні, люмінесцентні та фотоелектричні явища у напівпровідниках.

Тема 6. Оптичні явища в напівпровідниках.	14	4	-	4	-	6
Тема 7. Люмінесценція напівпровідників.	11	3	-	2	-	6
Тема 8. Фотоелектричні явища в напівпровідниках	11	3	-	2	-	6

Розділ 3. Контактні явища у напівпровідниках та основні види напівпровідникових приладів

Тема9. Контактні явища в напівпровідниках	18	8	-	--	-	10
Тема10. Напівпровідникові діоди	22	2	-	12	-	8
Тема 11. Біполярні транзистори.	18	4	-	4	-	10
Тема 12. Польові транзистори	14	4	-	-	-	10

Тема 13. Гетероструктури	12	2	-	-	-	10
--------------------------	----	---	---	---	---	----

4. Теми лабораторних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1	Визначення ширини забороненої зони і енергетичного положення локальних рівнів в напівпровіднику із температурної залежності провідності	4
2	Вимірювання концентрації та рухливості основних носіїв заряду за допомогою ефекту Холла	2
3	Дослідження форми краю оптичного поглинання	4
4	Дослідження спектрів випромінювання фотолюмінесценції	2
5	Дослідження спектрального розподілу фотоструму в напівпровідниках	4
6	Дослідження параметрів випрямлювальних напівпровідникових діодів.	4
7	Дослідження опорного діоду.	4
8	Вивчення роботи фотодіоду.	4
9	Дослідження статичних характеристик біполярних транзисторів	4

5. Завдання для самостійної роботи

- Підготовка теоретичного матеріалу за темами:
 - Основи зонної теорії напівпровідників.
 - Статистика електронів і дірок у напівпровідниках.
 - Статистика фононів.
 - Кінетичні явища у напівпровідниках.
 - Оптичне поглинання у напівпровідниках.
 - Фотоелектричні процеси у напівпровідниках.
 - Люмінесценція напівпровідників.
 - Електричні властивості контакту метал-напівпровідник та р-п-переходу.
 - Основні типи та характеристики напівпровідникових діодів.
 - Біполярні та польові транзистори.
 - Гетероструктури
- Підготовка до лабораторних робіт та складання звітів.

6. Індивідуальні завдання не планувались

7. Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються словесні методи навчання, наочні методи навчання. Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод; метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод.

Під час лабораторних занять використовуються наступні методи навчання: частково-пошуковий, або евристичний метод; дослідницький метод.

Під час самостійної роботи використовуються наступні методи навчання: частково-пошуковий, дослідницький метод.

8. Методи контролю

Для кожної теми формами контролю навчальних здобутків студентів можуть бути поточний контроль: конспект з лекцій; оцінка активності роботи на лекціях; аудиторне поточне опитування; звіт за виконаною лабораторною роботою, домашні завдання. Підсумковий семестровий контроль (екзамен). Підсумкові бали для оцінки знань студентів за розділ розраховуються таким чином:

№	Вид роботи	Форма контролю	Число балів
1.	Лекції	Контрольна робота	20
2.	Лабораторні роботи	Поточний контроль. Звіти за виконання робіт	5 15
3.	Сума		40

9. Схема нарахування балів

Форма контролю				Екзменаційна робота	Сума
Підсумкові бали за поточний контроль	Звіти за лабораторні роботи	Контрольна робота	Разом		
5	15	20	40	60	100

10. Критерії оцінювання навчальних досягнень

Підсумковий семестровий контроль (екзамен) проводиться у письмовій формі. Екзаменаційний білет містить три теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 20 бальною шкалою.

Критерії оцінювання теоретичного питання:

- повна розгорнута відповідь – 20 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь – 15 балів;

– повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 14 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;

– неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 10 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 студент отримав на екзамені, 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.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка		
	За шкалою ЄКТС	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
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		

11. Рекомендована література **Перелік навчально-методичної літератури**

Основна

1. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физикаполупроводников. М.: Наука, 1990. 688 с.
2. Фистуль В.И. Введение в физикуполупроводников. М. Высшая школа, 1984. 296 с.
3. Орешкин П.Т. – Физика полупроводников и диэлектриков. М., Высшая школа, 1977, 448 с.
4. Сердюк В.В., Чемересюк Г.Г. – Фотоэлектрическиепроцессы в полупроводниках. Київ, Либідь, 1993, 202 с.
5. Гуртов В.- Твердотельная электроника, М., Техносфера РИЦ ЗАО, 2008, 511с.
6. Зи С. – Физика полупроводниковых приборов, том 1, том 2. М., Мир.1984. 678 с.

7. Пикус Г.Е. – Основы теории полупроводниковых приборов. М., Наука. 278 с.
8. Чебаненко А.П., Каракис Ю.Н., Зубрицкий С.В. – Полупроводниковые диоды. Методические указания к лабораторным работам спецпрактикума «Физика полупроводниковых приборов», часть 1. –Одесса, ОНУ, 2014, 60 с.
- 9.Чебаненко А.П., Каракис Ю.Н., Зубрицкий С.В. – Термисторы, варисторы, транзисторы. Методические указания к лабораторным работам спецпрактикума «Физика полупроводниковых приборов», часть 2. – Одесса, ОНУ, 2016, 47 с.

Додаткова

- 1.Епифанов Г.И., Мома Ю.А. – Твердотельная электроника. М., Высшая школа, 1986, 186 с.
2. Зеегер К. Физикаполупроводников. М.Мир, 1977.
3. Аксенов А.И., Нефедов А.В. – Отчественныеполупроводниковые приборы, «СОЛОН – Пресс», 2008, 592 с.
4. Чебаненко А.П. – Полупроводниковые приборы: диоды, биполярные транзисторы. Методическиеуказания к изучениюспециальногокурса «Приборывтвёрдотельнойэлектроники» часть 1. Одесса, ОГУ, 1990, 55 с.

12. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

www.pppa.ru/additional/02phy/06/quantum_physics_34.php
<https://studfiles.net/preview/197263/page:2/>
https://studopedia.su/8_33066_opticheskoe-pogloschenie-v-poluprovodnikah.html
https://www.websor.ru/electroprovodnost_poluprovodnikov.html