

# ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладної фізики та наноматеріалів



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Декан фізичного факультету

В.І. Горбенко

13 09 2016 р.

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 4.24 “Фізика напівпровідників”

напрямок підготовки	6.040203 – “Фізика”
спеціалізація	“Фізика напівпровідників та діелектриків”
факультет	фізичний

2016-2017 навчальний рік

Робоча програма “Фізика напівпровідників” для студентів за напрямом підготовки 6.040203 – “Фізика”, 2016 року - 11 с.

Розробник: доцент кафедри прикладної фізики та наноматеріалів, к.ф.-м.н., доц. Яновський О.С.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри прикладної фізики та наноматеріалів

Протокол від “30” серпня 2016 року № 1

Завідувач кафедри  В.Г. Міщенко

Схвалено науково-методичною радою фізичного факультету

Протокол від “13” вересня 2016 року № 2

Голова  Н.І. Тихонська

### 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 9,3	Галузь знань: 0402 – фізико-математичні науки Напрямок підготовки: 6.040203 – фізика	За вибором вищого навчального закладу	
Модулів – 4	-----	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 4		4-й	----
		Семестр	
Загальна кількість годин - 333		7, 8 - й	----
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 год (7-й семестр), 7 год. (8-й семестр); самостійної роботи відповідно – 9 та 11 год.	Освітній рівень: бакалавр	Лекції	
		44 год.	----
		Практичні	
		54 год.	----
		Лабораторні	
		20 год	----
		Самостійна робота	
		215 год.	----
		----	
		Вид контролю: 1-й семестр – залік, 2-й семестр – іспит.	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи для денної форми навчання становить 1:1,8.

**Мета курсу** “Фізика напівпровідників” є вивчення основних фундаментальних розділів фізики твердого тіла, які становлять теоретичну базу технологічних процесів створення і функціонування мікро- та напоселектронних приладів.

**Завдання курсу** є засвоєння студентами принципів теоретичного опису елементів динаміки кристалічної ґратки; основ зонної теорії; статистики вільних носіїв заряду; кінетичних явищ; генерації, рекомбінації, дифузії та дрейфу нерівноважних носіїв заряду; контактних явищ в напівпровідниках і металах; оптичних властивостей напівпровідників; явищ в сильних електричних полях; поверхневих явищ в напівпровідниках; акусто-електронних явищ. Програмою курсу передбачено виконання індивідуальних розрахункових курсових робіт, а також контрольних робіт по окремим найважливішим темам. Значна увага приділяється самостійній роботі студентів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- основи зонної теорії, структуру енергетичних зон найважливіших напівпровідників, локалізовані електронні стани;
- елементи динаміки кристалічної ґратки;
- статистику рівноважних вільних носіїв заряду в твердому тілі;
- кінетичні явища в твердих тілах;
- механізми генерації і рекомбінації нерівноважних носіїв заряду в напівпровідниках;
- механізми дифузії і дрейфу нерівноважних носіїв заряду;
- основи теорії контактних явищ;
- оптичні властивості твердих тіл.

**вміти:**

- розраховувати основні параметри твердих тіл: рівноважну концентрацію носіїв заряду, ширину забороненої зони, коефіцієнт теплового розширення, температуру Дебая, кінетичні коефіцієнти, тощо.
- розраховувати та визначати час життя нерівноважних носіїв заряду;
- розраховувати розподіл нерівноважних носіїв заряду;
- розраховувати та вимірювати вольт-амперну характеристику *p-n*-переходу і контакту метал - напівпровідник;
- розраховувати стаціонарне значення і кінетику фотопровідності.

## 2. Програма навчальної дисципліни

### Модуль 1.

**Змістовий модуль 1. Динаміка кристалічної ґратки та основи зонної теорії.**

**Тема 1.** Вступ.

**Тема 2.** Елементи динаміки кристалічної ґратки.

**Тема 3.** Основи зонної теорії.

**Модуль 2.**

**Змістовий модуль 2. Концентрація рівноважних носіїв заряду та явища переносу.**

**Тема 4.** Статистика рівноважних вільних носіїв заряду.

**Тема 5.** Кінетичні явища.

**Модуль 3.**

**Змістовий модуль 3. Час життя нерівноважних носіїв заряду, дифузія та дрейф.**

**Тема 6.** Генерація і рекомбінація нерівноважних носіїв заряду в напівпровідниках.

**Тема 7.** Дифузія і дрейф нерівноважних носіїв заряду.

**Модуль 4.**

**Змістовий модуль 4. Фізичні процеси на контакті двох твердих тіл, оптичні властивості напівпровідників.**

**Тема 8.** Контактні явища в напівпровідниках і металах.

**Тема 9.** Оптичні властивості напівпровідників.

**3. Структура навчальної дисципліни**

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	Ус.	у тому числі					Ус.	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	с/п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Модуль 1.</b>												
<b>Змістовий модуль 1. Динаміка кристалічної ґратки та основи зонної теорії.</b>												
<b>Тема 1.</b> Вступ.	12	1	1			10						
<b>Тема 2.</b> Елементи динаміки кристалічної ґратки.	28	4	4			20						
<b>Тема 3.</b> Основи зонної теорії.	32	6	6			20						
<b>Разом за змістовним модулем 1</b>	72	11	11			50						
<b>Модуль 2.</b>												
<b>Змістовий модуль 2. Концентрація рівноважних носіїв заряду та явища переносу.</b>												
<b>Тема 4.</b> Статистика рівноважних вільних носіїв заряду.	32	6	6			20						
<b>Тема 5.</b> Кінетичні явища.	36	8	8			20						
<b>Разом за змістовним модулем 2</b>	68	14	14			40						
<b>Модуль 3.</b>												

<b>Змістовий модуль 3. Час життя нерівноважних носіїв заряду, дифузія та дрейф.</b>										
<b>Тема 6.</b> Генерація і рекомбінація нерівноважних носіїв заряду в напівпровідниках.	52	8	8	6		30				
<b>Тема 7</b> Дифузія і дрейф нерівноважних носіїв заряду.	42	6	6			30				
<b>Разом за змістовним модулем 3</b>	94	14	14	6		60				
<b>Модуль 4.</b>										
<b>Змістовий модуль 4. Фізичні процеси на контактні двох твердих тіл, оптичні властивості напівпровідників.</b>										
<b>Тема 8.</b> Контактні явища в напівпровідниках і металах.	53	3	8	7		35				
<b>Тема 9.</b> Оптичні властивості напівпровідників.	46	2	7	7		30				
<b>Разом за змістовним модулем 4</b>	99	5	15	14		65				
<b>Усього годин за модулями</b>	333	44	54	20		215				

#### 4. Теми лекційних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<b>Тема 1.</b> Вступ.	1
2	<b>Тема 2.</b> Елементи динаміки кристалічної ґратки.	4
3	<b>Тема 3.</b> Основи зонної теорії.	6
4	<b>Тема 4.</b> Статистика рівноважних вільних носіїв заряду.	6
5	<b>Тема 5.</b> Кінетичні явища.	8
6	<b>Тема 6.</b> Генерація і рекомбінація нерівноважних носіїв заряду в напівпровідниках.	8
7	<b>Тема 7.</b> Дифузія і дрейф нерівноважних носіїв заряду.	6
8	<b>Тема 8.</b> Контактні явища в напівпровідниках і металах.	3
9	<b>Тема 9.</b> Оптичні властивості напівпровідників.	2
Разом		44

#### 5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<b>Тема 1.</b> Вступ.	1
2	<b>Тема 2.</b> Елементи динаміки кристалічної ґратки.	4

3	<b>Тема 3. Основи зонної теорії.</b>	6
4	<b>Тема 4. Статистика рівноважних вільних носіїв заряду.</b>	6
5	<b>Тема 5. Кінетичні явища.</b>	8
6	<b>Тема 6. Генерація і рекомбінація нерівноважних носіїв заряду в напівпровідниках.</b>	8
7	<b>Тема 7. Дифузія і дрейф нерівноважних носіїв заряду.</b>	6
8	<b>Тема 8 Контактні явища в напівпровідниках і металах.</b>	8
9	<b>Тема 9. Оптичні властивості напівпровідників.</b>	7
Разом		54

### 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<b>Тема 6. Генерація і рекомбінація нерівноважних носіїв заряду в напівпровідниках.</b> 1. Вимірювання часу життя неосновних носіїв заряду в різних зразках кремнію.	6
2	<b>Тема 8. Контактні явища в напівпровідниках і металах.</b> 1. Вимірювання вольтфарадної характеристики (ВФХ) напівпровідникового діода. 2. Визначення типу провідності напівпровідника.	7
3	<b>Тема 9. Оптичні властивості напівпровідників.</b> 1. Металографічне дослідження напівпровідників.	7
Разом		20

### 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<b>Тема 1. Вступ.</b> Основні уявлення електронної теорії твердих тіл. Класичні моделі Друде, Лорентца.	10
2	<b>Тема 2. Елементи динаміки кристалічної ґратки.</b> Акусто-електронні явища: а) взаємодія пружних хвиль з вільними електронами. Електронне поглинання і посилення ультразвукових хвиль; б) акустоелектричний ефект.	20
3	<b>Тема 3. Основи зонної теорії.</b> Зони Бріллоена. Залежність енергії електрону від хвильового вектору у дна і верха енергетичної зони. Методи визначення ефективної маси носіїв заряду. Зонна структура германія, кремнію, сполучень типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$ .	20
4	<b>Тема 3. Статистика рівноважних вільних носіїв заряду.</b> Рівняння електронейтральності для різних типів твердих тіл. Визначення рівня Фермі та концентрації електронів.	20
5	<b>Тема 4. Кінетичні явища.</b> Теорія розсіювання носіїв заряду. Моделі Конуелл-Вайскопфа, та	20

	Брукса-Херінга. Фононне та електронне захоплення. Явища в сильних електричних полях: порушення закону Ома. Залежність рухомості від напруги електричного поля; зміна концентрації вільних носіїв заряду в сильних електричних полях. Електростатична, термоелектронна, ударна іонізація; пробій напівпровідників; ефект Гана.	
6	<b>Тема 5. Генерація і рекомбінація нерівноважних носіїв заряду в напівпровідниках.</b> Міжзонна випромінювальна та безвипромінювальна рекомбінація. Ударна (Оже) рекомбінація.	30
7	<b>Тема 6. Дифузія і дрейф нерівноважних носіїв заряду.</b> Розрахунок просторового розподілу нерівноважних носіїв заряду в різних типах напівпровідників.	30
8	<b>Тема 7. Контактні явища в напівпровідниках і металах.</b> Розрахунок вольт-амперної характеристики тонкого <i>p-n</i> -переходу. Аналіз складу току, який тече через <i>p-n</i> -перехід.	35
9	<b>Тема 8. Оптичні властивості напівпровідників.</b> Визначення ККД сонячного елемента та чинників які найбільш істотно впливають на рівень ККД. Нелінійна оптика: спонтанне і примусове випромінювання атомів, інтенсивність спонтанного випромінювання; ймовірність індукованих переходів, когерентність індукованого випромінювання; інверсійне заселення рівнів, методи отримання інверсійного заселення; стимульоване випромінювання в напівпровідниках. Люмінесценція.	30
Разом		215

### Індивідуальні розрахункові завдання

Завдання передбачає розв'язування розрахункових задач:

1. Розрахунок температурної залежності рівноважної концентрації носіїв заряду у напівпровіднику.
2. Розрахунок температурної залежності рухливості носіїв заряду.
3. Розрахунок температурної залежності електропровідності.
4. Розрахунок надлишкової концентрації носіїв заряду.
5. Розрахунок часу життя нерівноважних носіїв заряду.
6. Розрахунок параметрів *p-n* переходу.
7. Розрахунок фотопровідності напівпровідника.

### 9. Види контролю і система накопичення балів

Для осіннього (7-го) семестру (передбачені лекційні та практичні заняття)

	Вид контрольного заходу	Кількість контрольних заходів	Кількість балів за 1 захід	Усього балів
1	Підготовка завдання самостійної роботи (з представленням результатів на практичному занятті)	2	10	20
2	Виконання контрольних завдань по	5	5	25

	темам 1,2,3,4.			
3	Контрольна робота за результатами вивчення змістовних модулів 1 та 2	1	15	15
4	Залік. Проводиться по завершенню вивчення змістових модулів 1 і 2 у письмовому вигляді	1	40	40
	<b>Усього</b>	<b>9</b>		<b>100</b>

**Для весіннього (8-го) семестру (передбачені лабораторні, лекційні та практичні заняття)**

	Вид контрольного заходу	Кількість контрольних заходів	Кількість балів за 1 захід	Усього балів
1	Підготовка завдання самостійної роботи (з представленням результатів на практичному занятті)	2	10	20
2	Захист виконання лабораторних робіт	4	5	20
3	Виконання контрольних завдань по темам 5,6, та 7,8.	4	5	20
4	Захист індивідуального завдання	1	20	20
	Екзамен		20	20
	<b>Усього</b>	<b>11</b>		<b>100</b>

**Критерії оцінювання індивідуального завдання**

1. Повнота, правильність та наочність виконання розрахункового завдання - **10 балів**.
2. Оформлення завдання - **2 бали**.
3. Відповіді на запитання - **8 балів**.

**Критерії оцінювання захисту лабораторної роботи:**

1. Оформлення роботи – **1 бал**.
2. Якість і повнота виконання розрахункового завдання, що містить робота - **2 бали**.
3. Якість і повнота відповідей на контрольні запитання – **2 бали**.

**Критерії оцінювання на екзамені (заліку) та практичних заняттях**

Відповідь на екзамені (заліку) оцінюється на:

*відмінно:*

- Правильне та повне формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей.
- Пояснення законів, явищ, закономірностей на основі фізичних понять, що самі вже не можуть пояснюватись більш елементарними поняттями.
- Глибокий та вичерпний аналіз взаємозв'язків між явищами та закономірностями.
- Залучення до відповіді понять з суміжних розділів дисципліни.

*добре:*

- Правильне та повне формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей.
- Пояснення законів, явищ, закономірностей на основі фізичних понять, що самі вже не можуть пояснюватись більш елементарними поняттями.



- Помилки в аналізі взаємозв'язків між явищами та закономірностями.

*задовільно:*

- Формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей з помилками.
- Пояснення законів, явищ, закономірностей на основі фізичних понять, що самі вже не можуть пояснюватись більш елементарними поняттями

*незадовільно:*

- Невірне формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей.
- Відсутність або невірні відповіді на поставлені додаткові питання.

Практичні заняття (розв'язання задач) оцінюються на:

*відмінно:*

- Обґрунтування застосованих формул та пояснення проміжних перетворень; аналіз отриманого результату та висновки.
- Правильне написання формул; вірний хід рішення з проміжними викладками; підстановка вихідних даних з урахуванням розмірностей.
- Вірність проведених розрахунків до кінцевого результату, приведення розмірності використаних величин.

*добре:*

- Труднощі в обґрунтуванні застосованих формул та поясненні проміжних перетворень; аналіз отриманого результату та висновки.
- Правильне написання формул; вірний хід рішення з проміжними викладками; підстановка вихідних даних з урахуванням розмірностей.
- Вірність проведених розрахунків до кінцевого результату, приведення розмірності використаних величин.

*задовільно:*

- Написання формул з похибками; невірний хід рішення; відсутність числового рішення та розмірностей.
- *незадовільно:*
- Відсутність рішення задачі; неправильне застосування або написання формул.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

За шкалою ECTS	За шкалою університету	За національною шкалою	
		Екзамен	Залік
A	90 – 100 (відмінно)	5 (відмінно)	Зараховано
B	85 – 89 (дуже добре)	4 (добре)	
C	75 – 84 (добре)		
D	70 – 74 (задовільно)	3 (задовільно)	
E	60 – 69 (достатньо)		
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)	Не зараховано
F	1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)		

## 10. Рекомендована література

### Основна

1. Киреев П.С. Физика полупроводников / С.П. Киреев. - М.: "Высшая школа", 1975. - 586 с.
2. Давидюк Г.Є. Нерівноважні процеси в напівпровідниках: Навч. посіб./ Г.Є. Давидюк; Волин. держ. ун-т ім. Л.Українки. - Луцьк, 2000. - 151 с.
3. Третьяк О.В. Основы физики полупроводников: учебник: в 2 т. Т. 2 / О.В. Третьяк, В.З. Лозовський ; Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. - К., 2009. - 383 с.
4. Блейкмор Дж. Физика твёрдого тела / Дж. Блейкмор. - М.: "Мир", 1988. - 608 с.
5. Горбачёв В.В. Физика полупроводников и металлов / В.В. Горбачёв, Л.Г. Спицина. - М.: "Металлургия", 1982. - 336 с.
6. Шалимова К.В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 345 с.
7. Зеегер К. Физика полупроводников / К. Зеегер - М.: "Мир", 1977. - 616 с.
8. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. - М.: "Мир", 1971. - 456 с.
9. Ашкрофт Н. Физика твердого тела. В 2-х ч. / Н.Ашкрофт, Н.Мермин. - М.: "Мир", 1979. - 345 с.
10. Бонч-Бруевич В.Л. Физика полупроводников / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. - М.: "Наука", 1990. - 688 с.
11. Сборник задач по физике полупроводников [учеб. пособие для вузов] / В.Л. Бонч-Бруевич, И.П. Звягин, И.В. Карпенко, А.Г. Миронов. - М.: "Наука", 1987. - 144 с.
12. Задачи по физике твердого тела / под. ред. Г.Дж. Голдсмита. - М.: "Наука", 1976. - 432 с.
13. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков / П.Т. Орешкин. - М.: "Высшая школа", 1977. - 448 с.
14. Смит Р. Полупроводники / Р. Смит. - М.: "Мир", 1977. - 560 с.
15. Зайдман Дж. Принципы теории твердого тела / Дж. Зайдман. - М.: "Мир", 1979. - 416 с.
16. Готри З.Ю. Фізичні основи електронної техніки / З.Ю. Готри. - Львів: "Бескід", 2005. - 680 с.
17. Яновський О.С. Розрахунок найважливіших параметрів напівпровідників: Методичні вказівки до розрахункової частини курсової роботи з дисциплін «Фізика твердого тіла» та «Фізика електронних явищ у твердих тілах» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» напряму підготовки «Фізика» / О.С. Яновський - Запоріжжя: ЗНУ, 2013. - 43 с.

### Додаткова

1. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников / А.И. Ансельм. - М.: "Наука", 1978. - 616 с.
2. Епифанов Г.И. Твёрдотельная электроника / Г.И. Епифанов, Ю.А. Мома. - М.: "Высшая школа", 1986. - 304 с.

3. Третьяк О.В. Основы физики полупроводников: учебник: в 2 т. Т. 2 / О.В. Третьяк, В.З. Лозовский ; Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. - К., 2009. - 383 с.
4. Височанський Ю.М. Твердотільна електроніка. Лабораторний практикум / Ю.М. Височанський, А.А. Горват, О.О. Грабар – Ужгород: ІВА, 2001. – 388 с.
5. Аскеров Б.М. Кинетические эффекты в полупроводниках / Б.М. Аскеров. - Л.: "Наука", 1970. - 303 с.
6. Рейсленд Дж. Физика фононов / Дж. Рейсленд. - М.: "Мир", 1975. - 365 с.
7. Цидильковский И.М. Электроны и дырки в полупроводниках / И.М. Цидильковский. - М.: "Наука", 1972. - 543 с.
8. Блатт Ф. Физика электронов проводимости в твердых телах / Ф. Блатт. - М.: "Мир", 1971 г. - 349 с.

#### 14. Інформаційні ресурси

1. <http://irbis-nbuv.gov.ua>
2. [http://www.elsevier.com/wps/find/journal\\_browse.cws\\_home](http://www.elsevier.com/wps/find/journal_browse.cws_home)
3. <http://www.springer.com/?SGWID=0-102-0-0-0>
4. <http://www.wiley.com/WileyCDA/>
5. <https://docs.google.com/folder/d/0B1bSSBBDxI6-anZSUGt1WHYzMWs/edit>