

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Кафедра електроніки і енергетики

## СИЛАБУС

навчальної дисципліни

Взаємодія світла з речовиною напівпровідника

вибіркова

Освітньо-професійна програма Мікро- та наносистемна техніка

Спеціальність 153 – Мікро- та наносистемна техніка

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Рівень вищої освіти перший бакалаврський

Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Мова навчання українська

Розробники: Мостовий Андрій Ігорович, асистент кафедри електроніки і енергетики, кандидат технічних наук

### Профайл викладача (-ів)

<http://ptcsi.chnu.edu.ua/teachers/%d0%bc%d0%be%d1%81%d1%82%d0%be%d0%b2%d0%b8%d0%b9-%d0%b0%d0%bd%d0%b4%d1%80%d1%96%d0%b9-%d1%96%d0%b3%d0%be%d1%80%d0%be%d0%b2%d0%b8%d1%87/>

Контактний тел. 0987702529

E-mail: [a.mostoviy@chnu.edu.ua](mailto:a.mostoviy@chnu.edu.ua)

Сторінка курсу в Moodle <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=2267>

Консультації понеділок з 16.00 до 17.00

### 1. Анотація дисципліни (призначення навчальної дисципліни).

Програма курсу передбачає формування у студентів умінь експериментально визначати основні параметри і характеристики, що впливають на fotocутливість матеріалів і приладів; підготовку студентів до засвоєння інших курсів спеціалізації, виконання курсових, кваліфікаційних і дипломних робіт.

**2. Мета навчальної дисципліни:** формування у студентів професійних знань основних закономірностей фізичних процесів, які протікають у напівпровідниках при опроміненні їх електромагнітним випромінюванням оптичного діапазону і визначають ефективність роботи широкого класу приладів напівпровідникової електроніки; використання одержаних знань для розв'язування прикладних задач сучасного приладобудування, набуття практичних навиків визначення та оптимізації параметрів напівпровідникових матеріалів.

**3. Пререквізити:** Фізика (Ч.1), Аналітична геометрія, вища алгебра, математичний аналіз, диференціальне рівняння, Електронні процеси в напівпровідниках.

### 4. Результати навчання

#### знати:

- Оптичні параметри напівпровідників та взаємозв'язок між ними;
- Основні механізми поглинання світла речовиною напівпровідника та їх характерні особливості;
- Основні типи та механізми рекомбінаційних процесів, їх вплив на fotocутливість матеріалу та ефективність роботи приладів.

#### вміти:

- На основі відомих співвідношень між оптичними константами та коефіцієнтами розрахувати максимальну прозорість та найменшу відбивну здатність речовин;
- Експериментально досліджувати спектральні залежності оптичних коефіцієнтів та проводити їх аналіз;
- Розрізняти особливості взаємозв'язку між оптичними коефіцієнтами для товстих зразків та плівок;
- Аналізувати релаксаційні та частотні залежності фотопровідності та визначати на їх основі фотоелектричні параметри кристалів;
- Оптимізувати параметри та характеристики напівпровідників, що впливають на fotocутливість матеріалів та приладів.

### Програмні результати навчання

Застосовувати навички планування та проведення експерименту для перевірки гіпотез та дослідження явищ мікро- та наноелектроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, складати схеми пристроїв, аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.

## 5. Опис навчальної дисципліни

### 5.1. Загальна інформація

Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість		Кількість годин					Вид підсумкового контролю	
			кредитів	годин	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота		індивідуальні завдання
Денна, дистанційна	3-й	5-й	3	90	30			15	45		екзамен
Денна ск, дистанційна	1-й	5-й	3	90	30			15	45		екзамен

## 5.2. Дидактична карта навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Денна скорочена форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	Інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Змістовий модуль 1. Оптичні властивості напівпровідникових матеріалів</b>												
<b>Тема 1.</b> Вступ. Предмет та завдання курсу. Наукове і практичне значення процесів, що виникають у напівпровідниках під дією світла.	5	2				3	5	2				3
<b>Тема 2.</b> Оптичні константи та оптичні коефіцієнти. Їх зв'язок з діелектричною проникністю та питомою електропровідністю речовини. Визначення оптичних коефіцієнтів, їх фізичний зміст.	5	2				3	5	2				3
<b>Тема 3.</b> Закон Бугера-Ламберта. Фізичний зміст закону Бугера-Ламберта. Довжина вільного пробігу фотона у речовині напівпровідника. Взаємозв'язок між коефіцієнтом поглинання та довжиною вільного пробігу фотона.	9	2		3		4	9	2		3		4
<b>Тема 4.</b> Взаємозв'язок між оптичними константами та оптичними коефіцієнтами. Діелектричне відбивання світла. Область прозорості речовини. Закон збереження енергії світлового пучка в області прозорості.	10	2				3	10	2				3
<b>Тема 5.</b> Власне поглинання світла речовиною напівпровідника. Фізичний зміст	8	2		3		3	8	2		3		3

власного поглинання світла та його характерні особливості. Прямозонні та непрямоzonні напівпровідники. Типи оптичних електронних переходів. Правила відбору.												
<b>Тема 6.</b> Спектральна залежність коефіцієнта поглинання в області краю власного поглинання. Аналітичні залежності коефіцієнтів поглинання від енергії квантів світла для різних типів оптичних переходів. Визначення ширини забороненої зони з експериментально отриманих спектральних залежностей коефіцієнта поглинання.	8	2	3		3	8	2		3			3
<b>Тема 7.</b> Власне поглинання світла у сильно легованих напівпровідниках. Ефект Бурштейна-Мосса. Правило Урбаха.	5	2			3	5	2					3
<b>Тема 8.</b> Основні типи поглинання світла у напівпровідниках в області прозорості	5	2			3	5	2					3
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>50</b>	<b>16</b>	<b>9</b>		<b>25</b>	<b>50</b>	<b>16</b>		<b>9</b>			<b>25</b>
<b>Змістовий модуль 2. Фотоелектричні властивості напівпровідників</b>												
<b>Тема 1.</b> Внутрішній фотоелектричний ефект. Утворення нерівноважних носіїв заряду, їх розподіл по енергетичних станах. Квазірівні Фермі, визначення повної концентрації носіїв заряду у дозволених зонах напівпровідника. Інтенсивність оптичної генерації, її фізичний зміст, квантовий вихід внутрішнього	5	2			3	5	2					3

фотоэффекта.												
<b>Тема 2.</b> Час життя нерівноважних носіїв заряду. Фізичний зміст поняття “час життя” нерівноважних носіїв заряду. Основні співвідношення та величини, які визначають середній та ефективний часи життя вільних носіїв заряду. Інтенсивність рекомбінації та її фізичний зміст.	8	2		3		3		8	2		3	3
<b>Тема 3.</b> Фотопровідність напівпровідників. Явище фотопровідності. Залежність величини фотопровідності від часу дії світла. Стационарна фотопровідність.	7	2		3		2		7	2		3	2
<b>Тема 4.</b> Релаксація фотопровідності. Типи релаксаційних процесів. Лінійна і квадратична рекомбінація нерівноважних носіїв заряду у бездомішковому напівпровіднику. Релаксація фотопровідності у випадку лінійної та квадратичної рекомбінації, її характерні особливості. Частотна залежність фотопровідності.	5	2				3		5	2			3
<b>Тема 5.</b> Класифікація центрів захоплення. Центри прилипання та рекомбінації. Демаркаційні рівні, їх розташування у забороненій зоні напівпровідника та взаємозв'язок з квазірівнями Фермі.	5	2				3		5	2			3
<b>Тема 6.</b> Основні типи та механізми рекомбінаційних процесів у напівпровідниках, їх	5	2				3		5	2			3

характерні особливості. Випромінювальна та невипромінювальна рекомбінація у напівпровідниках.											
<b>Тема 7.</b> Поверхнева рекомбінація. Механізм поверхневої рекомбінації. Швидкість поверхневої рекомбінації. Вплив поверхневої рекомбінації на об'ємні властивості напівпровідників. Ефективний час життя нерівноважних носіїв заряду. Вплив поверхневої рекомбінації на спектральну залежність фотопровідності в області краю власного поглинання.	5	2			3	5	2				3
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>40</b>	<b>14</b>		<b>6</b>		<b>20</b>	<b>40</b>	<b>14</b>		<b>6</b>	<b>20</b>
<b>Разом за змістовними модулями 1 і 2</b>	<b>90</b>	<b>30</b>		<b>15</b>		<b>45</b>	<b>90</b>	<b>30</b>		<b>15</b>	<b>45</b>
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>30</b>		<b>15</b>		<b>45</b>	<b>90</b>	<b>30</b>		<b>15</b>	<b>45</b>

### 5.3. Теми лабораторних занять

№	Назва теми	К-сть годин
1	Дослідження поглинання світла напівпровідниками в інфрачервоній області спектра.	2
2	Дослідження поглинання світла напівпровідниками в області краю власного поглинання та визначення ширини забороненої зони.	4
3	Вимірювання стаціонарної фотопровідності напівпровідників.	4
4	Визначення часу життя нерівноважних носіїв заряду методом компенсації зсуву фаз.	3
5	Дослідження впливу поверхневої рекомбінації на фотопровідність напівпровідників.	2

### 5.4. Зміст завдань для самостійної роботи

№	Назва теми	К-сть годин
1	Основні напрямки розвитку фотоелектричного методу перетворення сонячної енергії.	3
2	Енергетичний розподіл рівноважних та нерівноважних носіїв заряду.	3
3	Розподіл густини об'ємного заряду, та електростатичного	3

	потенціалу у запірному шарі напівпровідника.	
4	Товщина запірного шару, її залежність від прикладеної зовнішньої напруги. Діодна та дифузійна теорія випрямлення.	4
5	Контактна різниця потенціалів в області р-п-переходу, її залежність від ширини забороненої зони напівпровідника.	3
6	Розподіл напруженості електричного поля та електростатичного потенціалу в різкому р-п-переході	4
7	ВАХ тонкого р-п-переходу.	3
8	Режим короткого замикання та холостого ходу.	3
9	Вплив рекомбінаційних процесів на величину струму короткого замикання у фотоперетворювачах.	3
10	Визначення основних параметрів фотоперетворювачів з експериментально отриманих ВАХ.	3
11	Еквівалентна електрична схема ідеального фотоперетворювача.	3
12	Залежність ефективності роботи фотоперетворювача від його конструктивних особливостей, інтенсивності рекомбінаційних процесів та ширини забороненої зони напівпровідника.	3
13	Вплив останніх на значення основних параметрів фотоперетворювача та ефективність його роботи.	3
14	Врахування фізичних параметрів напівпровідника при виготовленні сонячних елементів.	4

## 6. Система контролю та оцінювання

### Види та форми контролю

Формами поточного контролю є усна чи письмова (тестування, есе, реферат, творча робота, лабораторна робота) відповідь студента та ін.

Формами підсумкового контролю є залік, екзамен, комплексний іспит.

### Засоби оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання можуть бути:

- контрольні роботи;
- стандартизовані тести;
- проекти (наскрізні проекти; індивідуальні та командні проекти; дослідницько-творчі та ін.);
- аналітичні звіти;
- реферати;
- есе;
- розрахункові, графічні, розрахунково-графічні роботи;
- презентації результатів виконаних завдань та досліджень;
- студентські презентації та виступи на наукових заходах;
- контрольні роботи;
- завдання на лабораторному обладнанні, тренажерах, реальних об'єктах тощо;
- інші види індивідуальних та групових завдань.

### Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Результати заліку оцінюються відповідно до прийнятої уніфікованої університетської шкали: 40 балів від загальної 100-бальної, при цьому:

**0–13 балів.** Студент виявляє слабке уявлення про процеси та явища, які виникають у напівпровідниках під дією світла; не може зрозуміти найпростіші методики експериментального визначення параметрів напівпровідників з досліджень їх оптичних та фотоелектричних властивостей.

**14-19 балів.** Студент має фрагментарні уявлення з предмета вивчення і може відтворити окремі його частини; знає основні закономірності процесів, які мають місце у напівпровідниках при освітленні, але не розуміє суті фізичних явищ, що вони описують; не може самостійно виконати навіть нескладні лабораторні роботи.

**20-27 балів.** Студент знає окремі факти, що стосуються процесів та явищ в освітлюваних напівпровідниках; знає та розуміє основні закономірності предмета вивчення; може самостійно виконувати лабораторні роботи, але не знає провести аналіз отриманих експериментальних результатів.

**28-29 балів.** Студент за допомогою викладача відтворює окремі частини начального теоретичного матеріалу, дає визначення основних понять і формулює окремі закони й закономірності взаємодії світлової хвилі з речовиною напівпровідника, що розглядалися в курсі; може самостійно виконувати лабораторні роботи; аналіз отриманих експериментальних результатів може провести за допомогою викладача.

**30-32 бала.** Студент самостійно відтворює значну частину навчального матеріалу, формулює закони й закономірності, що розглядалися в курсі, але допускає несуттєві помилки; може пояснити процеси або явища, які визначають оптичні та фотоелектричні властивості напівпровідників при освітленні; самостійно проводить аналіз лише деяких експериментальних результатів, отриманих при виконанні лабораторних робіт.

**33-35 балів.** Студент самостійно відтворює фактичний і теоретичний навчальний матеріал, пояснює основні закономірності взаємодії світла з речовиною напівпровідника, розуміє взаємозв'язок між ними та їх практичне використання у сучасних фотоелектричних приладах; узагальнює засвоєний матеріал і надає кількісну характеристику з використанням математичного апарату, але допускає неточності; самостійно проводить аналіз експериментальних результатів, отриманих при виконанні лабораторних робіт, але провести узагальнення не може.

**36-40 балів.** Студент вільно володіє засвоєними знаннями і використовує їх у нестандартних ситуаціях; дає правильні вичерпні відповіді на всі поставлені запитання з глибоким розумінням фізичних процесів, що протікають у напівпровідниках при освітленні та визначають основні параметри фото- чутливих матеріалів; аргументовано використовує одержані знання для аналізу проблем підвищення ефективності роботи фото- та оптоелектронних приладів; має системні знання з предмета, аргументовано використовує їх, у тому числі в проблемних ситуаціях; самостійно знаходить і використовує інформацію згідно з поставленим завданням; аналізує додаткову інформацію; самостійно виконує передбачені навчальною програмою курсу лабораторні роботи, проводить аналіз отриманих результатів та робить узагальнюючі висновки.

У відомість обліку успішності та залікову книжку (індивідуальний навчальний план) студента заноситься сумарна кількість балів поточного (0-60 балів) та підсумкового контролю (іспит; 0-40 балів) згідно такої таблиці

### **Шкала оцінювання: національна та ЄКТС**

Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS	
	Оцінка (бали)	Пояснення за розширеною шкалою
<b>Відмінно</b>	A (90-100)	відмінно
<b>Добре</b>	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
<b>Задовільно</b>	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
<b>Незадовільно</b>	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим повторним курсом



## Підсумковий контроль: екзамен

### Розподіл балів, які отримують студенти (екзамен)

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)															Кількість балів (екзамен)	Сумарна к-ть балів
Змістовий модуль 1								Змістовий модуль 2								
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	40	100
3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4		

**T1, T2 ... T8 – теми змістових модулів.**

### 7. Рекомендована література –основна

1. Л Савицький А.В., Бурачек В.Р. Оптичні і фотоелектричні властивості напівпровідників. Навчальний посібник: Частина перша. - Чернівці: Рута, 1999.-99с.
2. Савицький А.В., Бурачек В.Р. Оптичні і фотоелектричні властивості напівпровідників. Навчальний посібник: Частина друга. - Чернівці: Рута, 2000. – 93с.

### 8. Інформаційні ресурси

Статті по тематиці предмету представлені у різних міжнародних наукометричних базах даних: Scopus, Web of Science, Google Scholar.