



ФІЗИЧНІ ОСНОВИ СЕНСОРИКИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти *Перший (бакалаврський)*

Галузь знань	15 Автоматизація та приладобудування ¹
Спеціальність	153 Мікро- та наносистемна техніка
Освітня програма	Мікро- та наноелектроніка
Статус дисципліни	нормативна
Форма навчання	Змішана (очно-дистанційна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кредитів ЕКТС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік / Модульні контрольні роботи
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доц. Коваль Вікторія Михайлівна, pvlab_kpi@ukr.net, 095 188 23 54 Лабораторні роботи: к.т.н., доц. Коваль Вікторія Михайлівна, pvlab_kpi@ukr.net, 095 188 23 54
Розміщення курсу	Код класу: mjvkzuq https://meet.google.com/lookup/asffklqb7z

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

В навчальній дисципліні «Фізичні основи сенсорики» будуть вивчатися фізичні явища (ефекти), які лежать в основі роботи сучасних сенсорів температури, тиску, газу, вологості, фізіологічних рідин, переміщення, швидкості, прискорення, магнітних полів та радіоактивності. Майбутньому фахівцю зі спеціальності Мікро- та наносистемної техніки варто вивчати дану дисципліну, оскільки вона дає можливість познайомитись з перетворювачами фізичних величин в електричний сигнал, які лежать в основі роботи сучасних сенсорів.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- давати фізичне обґрунтування механізму перетворення певних фізичних величин (температури, тиску, концентрації, переміщення, швидкості, прискорення тощо) в електричний сигнал, що використовується для побудови сенсорів та датчиків;
- самостійно розробляти на основі вивчених фізичних ефектів нові види сенсорів та датчиків фізичних величин.

Вивчення даної дисципліни забезпечить студентів наступні **компетенції**: вдосконалювати сучасні та розробляти нові види сенсорів та датчиків.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

знання: фізичних явищ (ефектів), які лежать в основі роботи сучасних сенсорів температури, тиску, газу, вологості, фізіологічних рідин, переміщення, швидкості, прискорення, магнітних полів та радіоактивності

уміння: використовувати фізичні явища (ефекти), які лежать в основі роботи сучасних сенсорів температури, тиску, газу, вологості, фізіологічних рідин, переміщення, швидкості, прискорення, магнітних полів та радіоактивності для побудови нових видів сенсорів та датчиків.

досвід: практичного використання вивчених фізичних ефектів для пояснення механізму перетворення певних фізичних величин (температури, тиску, концентрації, переміщення, швидкості, прискорення тощо) в електричний сигнал, що використовується в сучасних електронних сенсорах, а також теоретичної розробки на їх основі нових видів чутливих елементів (сенсорів).

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного вивчення даної дисципліни студенти мають засвоїти наступні дисципліни (**пререквізити дисципліни**):

- бакалаврські курси: “Фізика твердого тіла”, “Фізика напівпровідників” та “Твердотільна електроніка”

Результати навчання даної дисципліни використовуються для вивчення наступних дисциплін (**постреквізити дисципліни**):

- бакалаврські курси: “Оптоелектроніка”
- магістерські курси: “Електронні сенсори” та “Оптоелектронні інформаційні системи”.
- переддипломна практика та дипломне проектування.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (комп’ютерний практикум)	СРС

1	2	3	4	5	6
Розділ 1. Фізичні основи роботи сенсорів температури					
Тема 1. Вступ. Визначення та класифікація сенсорів.	1	1			
Тема 2. Термометри опору	9	3		7	
Тема 3. Термопарні сенсори	2	2			
Тема 4. Сенсори температури на фотоефекті	2	2			
Тема 5. Діелектричні сенсори температури	2	2			
Тема 6. Сенсори температури на напівпровідникових структурах	2	2			
Тема 7. Теплові сенсори	3	2			
Разом за розділом 1	21	14		7	
Розділ 2. Фізичні основи роботи сенсорів механічних полів					
Тема 1. Акустичні дослідження у медицині	2	2			
Тема 2. Реєстрація статичних та динамічних механічних напружень	3	3			
Контрольна робота 1	3	1			4
Разом за розділом 2	8	6			4

1	2	3	4	5	6
Розділ 3. Фізичні основи роботи газових сенсорів					
Тема 1. Сорбційні сенсори	19	4		15	
Тема 2. Калориметричні та каталітичні методи визначення газу	4	4			
Тема 3. Оптичні методи визначення складу газу	9	2		7	
Разом за розділом 3	32	10		22	
Розділ 4. Фізичні основи роботи сенсорів фізіологічних рідин					
Тема 1. Електрохімічні методи дослідження рідин	9	2		7	
Тема 2. Біосенсори.	1	1			
Контрольна робота 2	3	1			4
Разом за розділом 4	13	4		7	4
Розділ 5. Фізичні основи роботи сенсорів магнітного поля					
Тема 1. Взаємодія магнітного поля із твердим тілом	8				8
Тема 2. Вплив магнітних полів на параметри напівпровідникових приладів	8				8
Разом за розділом 5	16				16
Розділ 6. Фізичні основи роботи сенсорів жорсткого випромінювання					
Тема 1. Детектори на основі іонізації газів.	8				4
Тема 2. Напівпровідникові та сцинтиляційні детектори.	8				4
Разом за розділом 6	16				8
Реферат	30				30
Екзамен					
(або Залік)	8	2			16
Всього годин	150	36		36	78

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни:

1. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: підручник / Є.С. Поліщук [та ін.] Львів: Вид-во "Бескид Біт", 2008. – 618 с.
2. Фізичні основи сенсорики: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», освітньої програми «Мікро- та наноелектроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. М. Коваль. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,47 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 65 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (№10 від 18.06.2020.) за поданням Вченої ради факультету електроніки (протокол №05/2020 від 25.05.2020 р)
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36431>

Допоміжна література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни:

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: В 3-ох т. / В. Вуйцік, З. Готра, О. Готра та інш.; Львів: Ліга-Прес, 2003. – 595 с.
2. Джексон Р. Г. Новейшие датчики. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
3. Эггинс Б. Химические и биологические сенсоры – М.: Техносфера, 2005. – 336 с.
4. Пасынков В.В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы: учебн.пособие. – СПб.: Лань, 2002. – 480 с.

5. Дж. Фрайден Современные датчики. - М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
6. В.П. Михеев, А.В. Просаедеев Датчики и детекторы. - М.: МИФИ, 2007. – 172 с.

Зазначену літературу можна знайти в бібліотеці КПІ ім.І.Сікорського, на сайті кафедри мікроелектроніки (<http://me.kpi.ua/index.php?id=61>) або в інтернеті.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Методика опанування дисципліни полягає у вивченні теоретичної частини матеріалу на лекційних заняттях та ознайомлення студентів з фізичними явищами, що лежать в основі роботи сенсорів, на лабораторних заняттях. В лекційному матеріалі головний акцент зроблено на теоретичні основи функціонування та основні параметри і характеристики електронних сенсорів. Всі лекційні заняття для підвищення наочності супроводжуються презентаціями, які демонструються на великому екрані за допомогою проектора.

Застосовуються стратегії активного і колективного навчання, які визначаються наступними методами і технологіями:

- 1) дослідницький метод викладу (лекції);
- 2) доповнення традиційних навчальних занять засобами взаємодії на основі мережевих комунікаційних можливостей (технологія GoogleClassroom та електронні презентації для лекційних занять).

Теми лекційних занять:

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Визначення та класифікація сенсорів. Сенсори температури: – Актуальність застосування сенсорів – Основні поняття сенсорики – Класифікація сенсорів – Області застосування сенсорів – Фізичні ефекти, на основі яких побудовані сенсори температури
2	Термометри опору: – Вплив температури на електропровідність металів та сплавів – Металеві термометри опору – Вплив температури на електропровідність напівпровідників – Напівпровідникові термометри опору
3	Термопарні сенсори: – Фізична сутність ефекту Зеебека у металах та напівпровідниках. – Металеві термопарні термометри та їх основні характеристики.
4	Сенсори температури на фотоефекті: – Власне поглинання ІЧ-випромінювання та фотопровідність у напівпровідниках. – Фотоприймачі ІЧ-випромінювання як сенсори температури.
5	Діелектричні сенсори температури: – Вплив температури на діелектричні властивості твердого тіла. – Сегнетоелектричні сенсори температури. – Піроелектричні сенсори температури.
6	Сенсори температури на напівпровідникових структурах: – Вплив температури на параметри р-n-переходу. – Термодіоди. – Термотранзистори.

7	Теплові сенсори: – Основні закони поглинання та випромінювання, сформульовані для АЧТ. – Теплові перетворювачі. – Індикатори температури.
8	Акустичні дослідження у медицині: – Створення та реєстрація пружних коливань. – Прямий та зворотній п'єзоефекти. – Вплив природи п'єзоматеріалу на характеристики приймача – випромінювача ультразвукових коливань. – Застосування акустичних досліджень в медицині.
9	Реєстрація статичних та динамічних механічних напружень: – Статичні та динамічні напруження і методи їх реєстрації. – Тензорезистивний ефект в металах та сплавах. – Тензорезистивний ефект в напівпровідниках та напівпровідникових приладах.
10	Реєстрація статичних та динамічних механічних напружень: – Застосування тензорезистивного ефекту (сенсори сили, переміщення, прискорення). Контрольна робота 1.
11	Сорбційні сенсори: – Механізми сорбції газів на поверхні твердого тіла. – Гравіметричний метод визначення сорбції газу. – Вплив сорбції газів на електрофізичні властивості напівпровідників.
12	Сорбційні сенсори: – Вплив сорбції газів на електрофізичні властивості напівпровідникових приладів. – Механізм поглинання вологи твердим тілом. – Резистивні та ємнісні сенсори вологи.
13	Калориметричні методи визначення газу: – Теплопровідність газів. – Калориметричні методи визначення складу газу.
14	Каталітичні методи визначення газу: – Тепловий ефект реакції. Каталіз. – Каталітичні сенсори газу.
15	Оптичні методи визначення складу газу: – Механізми поглинання випромінювання газом. – Структура оптичних сенсорів газу.
16	Електрохімічні методи дослідження рідин: – Електрохімічні реакції, умови їх протікання. – Потенціометричні методи визначення складу рідин. – Амперометричні методи визначення складу рідин.
17	Біосенсори. Контрольна робота 2
18	Залік

Назви лабораторних занять:

№ з/п	Назва семінарського заняття	Кількість ауд. годин
1	Резистивні сенсори температури.	2
2	Діелектричні сенсори вологи.	2
3	Оптичні сенсори газу (рідини).	2
4	Електрохімічні сенсори фізіологічних рідин.	2
5	Напівпровідникові сенсори освітленості.	2
6	Сенсори ультрафіолетового випромінювання	2

6. Самостійна робота студента/аспіранта

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Взаємодія магнітного поля із твердим тілом	4
2	Вплив магнітних полів на параметри напівпровідникових приладів	4
3	Детектори на основі іонізації газів	4
4	Напівпровідникові та сцинтиляційні детектори	4
5	Підготовка індивідуального завдання (реферату)	24
6	Підготовка до контрольної роботи 1	1
7	Підготовка до контрольної роботи 2	1
8	Підготовка до заліку	6

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття проводяться дистанційно в системі GoogleClassroom (Код класу: mјvkzuq, <https://meet.google.com/lookup/asffklqb7z>), а лабораторні заняття – в очному режимі. Відвідування лекційних занять не є обов'язковим, однак для одержання іспиту “автоматом” потрібно набрати більше 60 балів, які можна набрати відвідавши лекційне заняття (пройшовши експрес-тест по матеріалу лекції) та відвідавши лабораторне заняття (виконавши та захистивши лабораторні роботи).

Бали за **роботу під час лекції** нараховуються на основі експрес-опитування у вигляді тесту. Кожний тест містить 3 запитання до матеріалу лекційного заняття, правильна відповідь на які дасть змогу отримати 3 бали.

Робота на лабораторному занятті передбачає виконання або захист лабораторної роботи. За виконання кожної роботи студент одержує 4 бали, а на захисті – по 2 бали за оформлення протоколу та відповіді на 2 питання по теоретичному матеріалу лабораторної роботи.

Модульна контрольна робота проводиться на лекційному занятті у вигляді тестування. Кожний тест містить 10 запитань, правильні відповіді на які дають змогу одержати 10 балів.

Індивідуальне завдання (РГР) – це здійснення аналітичного літературного огляду за обраною темою та захист його в усній формі. Виконується у години самостійної роботи. Бали за виконання реферату нараховуються на основі повноти розкриття теми та правильності оформлення реферату згідно ДСТУ (максимальний бал – 5 балів). Бали за захист реферату нараховуються на основі рівня доповіді за темою реферату та правильності відповідей на поставленні запитання по даній тематиці (максимальний бал – 5 балів).

Студенти, які набрали протягом семестру кількість балів ≥ 60 мають можливість не здавати залік, а отримати оцінку “автоматом” відповідно до набраного рейтингу з дисципліни. Студенти,

які не набрали 60 балів, або набрали ≥ 60 , однак одержана оцінка їх не влаштовує, здають залік без урахування семестрових рейтингових балів.

Умова допуску до заліку – виконання та захист лабораторних робіт, підготовка та захист реферату.

Залік є усним. Білет на заліку складається з 2-х питань по тематиці змістовних модулів, що виносяться на аудиторні заняття та на самостійне опрацювання.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: експрес-опитування (тест) наприкінці кожної лекції.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу (дві модульні контрольні роботи).

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: виконання та захист лабораторних робіт, підготовка та захист реферату.

1. Система рейтингової оцінки по видам занять:

№ п/п	Заняття, що підлягають рейтинговій оцінці	Загальна кількість завдань	Максимальний бал за 1 завдання	Кількість балів на "відмінно"
1.	Лекції: -експрес-опитування (тест)	10	3	30
2.	Лабораторні заняття: виконання лабораторної роботи захист лабораторної роботи	4 4	4 6	16 24
3.	Модульні контрольні роботи (тести)	2	10	20
4.	Індивідуальне завдання (ДКР): -підготовка реферату -захист реферату	1 1	5 5	5 5
Семестрові бали				100

2. Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

3. Якщо з об'єктивних обставин кількість занять змінюється, семестрові бали, наведені у п.н. 1, відповідним чином корегуються.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань для модульної контрольної роботи №1:

1. Основні поняття та класифікація сенсорів.
2. Вплив температури на електропровідність металів.
3. Вплив температури на електропровідність сплавів.
4. Металеві термометри опору.
5. Вплив температури на електропровідність напівпровідників.
6. Напівпровідникові термометри опору.
7. Правило Маттісена. Закон Нордгейма.
8. Дротові та плівкові металеві терморезистори.
9. Термістори та позистори
10. Фізична сутність ефекту Зеєбека у металах
11. Фізична сутність ефекту Зеєбека в напівпровідниках.
12. Металеві термопарні термометри.
13. Порівняння терморезистивних та термопарних сенсорів
14. Вплив природи матеріалу на характеристики фотоприймачів ІЧ-випромінювання.
15. Теплові та фотонні ІЧ-приймачі. Означення та порівняння.
16. Випромінювання нагрітого тіла. Основні закони поглинання та випромінювання.
17. Структура теплових перетворювачів.
18. Індикатори температури.
19. Теплові сенсори
20. Особливості фотонних ІЧ-приймачів
21. Особливості теплових ІЧ-приймачів
22. Сегнетоелектрики та їх застосування.
23. Ємнісні сенсори температури на основі сегнетоелектриків
24. Фізична суть піроелектричного ефекту та його застосування.
25. Піроелектричні датчики температури.
26. Термодіоди та термотранзистори

Перелік питань для модульної контрольної роботи №2:

1. Створення та реєстрація пружних коливань. Звук та звукові хвилі.
2. Схема акустичного вимірювального тракту
3. Види електроакустичних перетворювачів
4. Прямий та зворотній п'єзоефекти
5. Вимоги до матеріалів для спостереження п'єзоефекту. П'єзоматеріали.
6. Застосування акустичних досліджень в медицині
7. Ультразвукова діагностика
8. Механічні напруження та методи їх реєстрації.
9. Тензометрія та області її застосування.
10. Тензорезистивний ефект в металах та сплавах
11. Конструктивні різновиди тензорезисторів
12. Тензорезистивний ефект в напівпровідниках та напівпровідникових приладах

13. Газоаналізатори та гігрометри. Основні поняття, класифікація та області застосування.
14. Механізми сорбції газів на поверхні твердого тіла.
15. Різновиди сорбційних процесів. Адсорбція та абсорбція. Фізична та хімічна адсорбція.
16. Гравіметричний метод визначення сорбції газу.
17. Резистивні та ємнісні сенсори вологи.
18. Вплив сорбції газів на електрофізичні властивості напівпровідників.
19. Хемосорбція газу на напівпровіднику р-типу.
20. Хемосорбція газу на напівпровіднику n-типу.
21. Адсорбційні центри на поверхні твердого тіла.
22. Напівпровідникові газоаналізатори.
23. Резистивні сенсори газу.
24. Сенсори газу на основі МДН-структур, бар'єру Шотткі та гетеропереходів
25. Оптичні методи визначення складу газу
26. Теплові методи визначення складу газу
27. Калориметричні методи визначення складу газу
28. Каталітичні сенсори газу
29. Рефрактометричний метод аналізу газу.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доц., к.т.н., доц., Коваль Вікторія Михайлівна

Ухвалено кафедрою мікроелектроніки (протокол № ____ від ____)

Погоджено Методичною комісією факультету² (протокол № ____ від ____)