

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 СЕНСОРІВ

(назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 10 – природничі науки
(шифр і назва)

Спеціальності 105 – прикладна фізика та наноматеріали
(шифр і назва)

Освітні програми прикладна фізика та наноматеріали

Вид дисципліни обов'язкова

Факультет математики, фізики, та інформаційних технологій
(назва факультету)

2020 / 2021 навчальний рік

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

Розробники програми:

доктор фізико-математичних наук, професор Сминтина В.А.

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

Завідувач кафедри

(підпис)

Сминтина В.А.

(прізвище та ініціали)

Робочу 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 сенсорів» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки другого (освітньо-професійного) рівня вищої освіти (магістр з прикладної фізики та наноматеріалів). Галузь знань: 10 – Природничі науки. Спеціальність: 105-Прикладна фізика та наноматеріали. Освітньо-професійна програма: «Прикладна фізика та наноматеріали».

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є:

надання майбутнім магістрам необхідних теоретичних та практичних знань в області фізики сенсорів та вміння використовувати їх в практичній і дослідницькій роботі.

Знання, що отримують студенти з навчальної дисципліни, є базовими для блоку дисциплін з прикладної фізики та наноматеріалів, що забезпечують природничо-наукову та професійно-практичну підготовку.

1.2. Основним завданням вивчення дисципліни є:

формування у студентів знань, умінь та навичок в області фізики сенсорів, які необхідні фахівцю в його майбутній професійній діяльності, уміння постійно підвищувати свій професіональний рівень.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів таких спеціальних фахових компетентностей:

Інтегральна компетентність, ІК:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми з фізики та астрономії у професійній діяльності та/або в процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

Загальні компетентності, ЗК:

- K1. Знання та розуміння предметної області та розуміння предметної діяльності.
- K2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- K3. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.
- K4. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- K5. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- K6. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
- K9. Здатність виявляти ініціативу та підприємливість.

Спеціальні (фахові) компетентності, СК:

- K12. Глибокі концептуальні знання та розуміння найбільш актуальних проблем та досягнень у різних галузях сучасної теоретичної і експериментальної фізики та астрономії.
- K13. Здатність користуватися основними джерелами наукової інформації, у тому числі базами даних та науковими публікаціями.
- K14. Усвідомлення мети й завдань сучасної фізики та астрономії, здатність вирішувати проблеми й задачі інноваційного характеру в одній із галузей фізики або астрономії відповідно до обраної спеціалізації.
- K15. Здатність брати участь у колективних дослідженнях, у тому числі міжнародних.
- K16. Усвідомлення кількісного характеру досліджень у фізиці та астрономії і здатність застосовувати спеціальні математичні та теоретичні методи для розв'язування задач предметної галузі.
- K17. Здатність збирати та аналізувати дані, у тому числі оцінювати їх можливі похибки і невизначеність.
- K18. Здатність планувати й здійснювати теоретичні та/або експериментальні дослідження фізичних або астрономічних об'єктів, явищ і процесів на основі розуміння і навичок практичного використання спеціалізованих знань фізики, астрономії та астрофізики, відповідно до обраної спеціалізації, а також спеціальних математичних методів та інформаційних технологій.
- K19. Здатність встановлювати зв'язок між експериментальними і теоретичними результатами, здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних явищ, об'єктів і процесів, пов'язувати результати досліджень із сучасними фізичними та астрономічними теоріями і уявленнями.
- K20. Здатність робити наукові узагальнення та осмислення результатів наукових досліджень, співвідносити висновки із положеннями сучасних фізичних або астрономічних теорій.

1.3. Кількість кредитів: 3.

1.4. Загальна кількість годин 90.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
обов'язкова
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Лекції
30 год.
Практичні/семінарські

Лабораторні

Самостійна робота
60 год.
В тому числі індивідуальні завдання.

1.6. Заплановані результати навчання:

Згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика та наноматеріали» студенти можуть досягти наступних програмних результатів навчання.

ПР1. Глибокі концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем та досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та астрономії.

ПР2. Знання, розуміння та здатність використовувати на практиці основні методи планування, постановки та проведення фізичного або астрономічного експерименту (комп'ютерної симуляції).

ПР4. Знання та навички, необхідні для здійснення наукових досліджень та/або інновацій в одній із галузей сучасної фізики та астрономії відповідно до обраної спеціалізації.

ПР6. Уміння встановлювати зв'язок між фізичними та астрономічними величинами, здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних явищ, об'єктів і процесів, обирати і використовувати відповідні методи для аналізу даних і оцінювання рівня їх достовірності.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

1 рік

Розділ 1. Зміст слова сенсор. Сенсорні взаємодії. Класифікація сенсорів за призначенням, за принципом їх дії.

Тема 1. Поняття «сенсор». Про необхідність сенсорів та їх роль у діяльності людства. Спрощений алгоритм взаємодії сенсорної системи реагування на зовнішні подразники.

Головні узагальнення серед визначень поняття сенсор. Сенсорний комплекс внутрішнього контролю. Сенсорні системи з позитивним зворотнім зв'язком. Електроніка сенсорів (Сенсорика). Технічний рівень сенсорів. Моніторинг якості оточуючого середовища та характеристик технологічних процесів. Створення вузькоспеціалізованих сенсорних пристроїв. Роль сенсорів у розвитку авіації, космонавтики, астрономії. в областях, де потрібні точні дані про об'єкт спостереження чи предмет споживання. Сенсор перший отримувач інформації про зміни фізичних та хімічних властивостей середовища.

Тема 2. Прості сенсорні. Пасивні та активні сенсорні. Сенсорні комп'ютерні системи. Інтелектуальні сенсорні.

Функціональна схема простого сенсора. Використання Підсилювачів та селекторів сигналів. Компас найпростіший сенсор магнітного поля. Електрокардіограф. Чутливий елемент та сигналізатор обов'язкові та невід'ємні функціональні частини сенсора. Необхідність введення до складу сенсора вузла обробки інформації. Пісочний годинник як сенсор часу. Функціональна схема активного і пасивного сенсора. Приклад активного

сенсору – сенсор артеріального тиску тонометр. «Розумні» сенсорно-комп'ютерні системи. Активні і пасивні сенсорно-комп'ютерні системи. Можливості інтелектуальних сенсорів. Функціональна схема інтелектуального сенсора.

Розділ 2. Характеристики сенсорів. Фізичні основи і принципи роботи сенсорів.

Тема 3. Характеристика перетворення. Статичні характеристики сенсорів. Динамічні характеристики сенсорів. Старіння і надійність сенсорів.

Приклад змін у часі величини, що вимірюється і відповідної реакції сенсора. Градуіровочні характеристики сенсора. Поріг чутливості сенсора. Час реакції. Постійна часу реакції. Статичні характеристики: чутливість, роздільна здатність, лінійність, дрейф нуля, робочий діапазон, повторюваність, відтворюваність. Математична формула передаточної функції. Діапазон величин, що вимірюються. Діапазон вихідних величин. Точність сенсора. Відмінність між статичними і динамічними похибками. Сенсори нульового порядку. Перехідна характеристика сенсора. Короткотермінова та довготермінова стабільність.

Тема 4. Оптичні сенсорі. Принципи роботи оптичних сенсорів на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР).

Взаємодія оптичного випромінення з твердими тілами. Види фотосенсорів та їх загальна характеристика. Конструкції чутливих елементів фотосенсорів. Основні характеристики і параметри фоточутливих сенсорів. Класифікація оптичних сенсорів. Перший сенсор гемоглобіна на явищі відбиття світла. Поверхневий плазмонний резонанс. Застосування сенсорів на явищі ППР для аналізів.

Тема 5. Люмінесцентні сенсорі. Люмінесцентні сенсорі на поруватому Si.

Теоретичні основи роботи люмінесцентних сенсорів. Рекombінаційне випромінювання при переходах електронів із зони провідності до валентної зони напівпровідника. Люмінесценція напівпровідників в результаті рекombінації за схемою зона дозволених енергій – енергетичний рівень домішки. Застосування наночастинок TiO_2 для люмінесцентного сенсора. Нанопоруватий сенсор. Вплив адсорбції на люмінесценцію поруватого Si. Сенсори на основі ефекту Холла. Теоретичні відомості про ефект Холла. Конструкція перетворювачів Холла. Основні параметри сенсорів Холла.

Тема 6. Тензо і п'єзо сенсорі. Газові сенсорі.

Теоретичні відомості про принцип дії тензосенсора. Основні відомості про п'єзоелектричний ефект. Основні технічні характеристики і параметри тензосенсорів. Електронні і молекулярні процеси у газових сенсорах. Конструкція газового сенсора. Основні технічні параметри і характеристики резистивних газових сенсорів. Базові фізичні принципи роботи газових сенсорів на основі бар'єрних структур. Газовий сенсор на основі МОН-структури. Сенсор рН метр на ISFET-структурі. Сенсор на основі бар'єра Шоттки. Сенсор на основі метода Кельвіна.

Тема 7. Сенсорі тепла. Сенсорі переміщення. Акустичні сенсорі.

Фундаментальні властивості тепла. Сенсорі терморезистори. Термопарі. Напівпровідникові діоди – як сенсорі температури. Пірометри. Тепловізори. Основні технічні характеристики і параметри температурних сенсорів. Характеризація положення тіла у просторі. Ємнісні сенсорі переміщень. Індуктивні сенсорі переміщень. Трансформаторні (взаємоіндуктивні) сенсорі переміщень. Основні технічні характеристики сенсорів переміщень. Глобальна система орієнтування. Сенсорі коливальних систем. Хромотографічні сенсорі. Основні фізичні властивості акустичних хвиль. Сенсорі на об'ємних акустичних хвилях.

Сенсори на поверхневих акустичних хвилях. Акустичні сенсори як прослуховуючі пристрої. Активні акустичні сенсори.

Розділ 3. Напівпровідникові сенсори.

Тема 8. Про мікросистемні технології.

Сенсори на основі елементарних бінарних та складних напівпровідникових структур. Сенсори деформації (тензосенсори). Фотосенсори (термосенсори, квантові сенсори). Структура і фізика роботи сенсорів на польовому транзисторі.

Тема 9. Сенсори на основі метал-оксидних напівпровідників. Механізми провідності метал-оксидних сенсорів.

Зонна енергетична діаграма на поверхні напівпровідника. Поверхневий потенціал, рівняння Пуассона, концентрація хемосорбованих частинок на поверхні сенсорів. Сенсори порошкового типу. Сенсори плівкового типу. Характеристики метал-оксидних сенсорів.

Тема 10. Аспекти феноменологічної теорії чутливості напівпровідникових сенсорів.

Універсальне визначення адсорбції чутливості сенсора. Залежність β від фундаментальних та основних характеристик сенсорів. Залежність β від поверхневого потенціалу. Залежність β від деяких інших власних зовнішніх параметрів.

Тема 11. Основні властивості кінетики Ленгмюра.

Кінетика хемосорбції для випадку наявності на поверхні сенсора двох типів газів. Аналіз експериментальних результатів досліджень хемосорбції акцепторних частинок на неоднорідній поверхні твердотільного сенсора. Експериментальне визначення енергетичних параметрів газових сенсорів. Термостимульована десорбція. Визначення енергії зв'язку адсорбованої частки з поверхнею напівпровідникового сенсора з температурної залежності електропровідності.

Розділ 4. Сенсори на основі наноматеріалів.

Тема 12. Особливості характеристик наноматеріалів.

Струмоперенесення в НК напівпровідників. Особливості провідності НК напівпровідників. Газовий сенсор на основі нанопоруватого Si. Сенсорні властивості наноструктурованого діоксида олова.

Тема 13. Наноструктуровані матеріали TiO_2 та ZnO у сенсорних застосуваннях.

Застосування квантових точок у сенсоріці.

Оптичні біосенсори на базі наноструктурованих TiO_2 , ZnO : визначення, переваги та перспективи. Ефективність роботи біосенсорів. Фотолюмінісценція тонких плівок ZnO для визначення вірусу скручування листя винограду (GVA). Фотолюмінісценція наночастинок TiO_2 для визначення наявності вірусу Сальмонелли. Молекулярні сенсори. Квантові точки $ZnCdSe$ – сенсори на пестициди.

3. Структура навчальної дисципліни

Тема	Кількість годин					
	Усього	Лек.	Пр.	Лаб.	СР	Інд. в т.ч.
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Зміст слова сенсор. Сенсорні взаємодії. Класифікація сенсорів за призначенням, за принципом їх дії.						
<i>Тема 1. Поняття «сенсор». Про необхідність сенсорів та їх роль у діяльності людства. Спрощений алгоритм взаємодії сенсорної системи реагування на зовнішні подразники.</i>	4	2	-	-	2	
<i>Тема 2. Прості сенсори. Пасивні та активні сенсори. Сенсорні комп'ютерні системи. Інтелектуальні сенсори.</i>	6	2	-	-	4	
Розділ 2. Характеристики сенсорів. Фізичні основи і принципи роботи сенсорів.						
<i>Тема 3. Характеристика перетворення. Статичні характеристики сенсорів. Динамічні характеристики сенсорів. Старіння і надійність сенсорів.</i>	8	2	-	-	6	1
<i>Тема 4. Оптичні сенсори. Принципи роботи оптичних сенсорів на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР).</i>	8	2	-	-	6	1
<i>Тема 5. Люмінесцентні сенсори. Люмінесцентні сенсори на поруватому Si.</i>	6	2	-	-	4	1
<i>Тема 6. Тензо і п'єзо сенсори. Газові сенсори.</i>	6	2	-	-	4	1
<i>Тема 7. Сенсори тепла. Сенсори переміщення. Акустичні сенсори.</i>	6	2			4	1
Розділ 3. Напівпровідникові сенсори.						
<i>Тема 8. Про мікросистемні технології..</i>	6	2	-	-	4	
<i>Тема 9. Сенсори на основі метал-оксидних напівпровідників. Механізми провідності метал-оксидних сенсорів.</i>	8	2	-	-	6	1
<i>Тема 10. Аспекти феноменологічної теорії чутливості напівпровідникових сенсорів.</i>	8	2	-	-	6	
<i>Тема 11. Основні властивості</i>	8	2	-	-	6	

<i>кінетики Ленгмюра.</i>						
Розділ 4. Сенсори на основі наноматеріалів.						
<i>Тема 12. Особливості характеристик наноматеріалів.</i>	8	4	-	-	4	
<i>Тема 13. Наноструктуровані матеріали TiO₂ та ZnO у сенсорних застосуваннях. Застосування квантових точок у сенсоріці.</i>	8	4	-	-	4	
Усього годин	90	30	-	-	60	6

4. Завдання для самостійної роботи (60 год.)

1. Підготовка теоретичного матеріалу за темами:

- *Поняття «сенсор». Про необхідність сенсорів та їх роль у діяльності людства. Спрощений алгоритм взаємодії сенсорної системи реагування на зовнішні подразники*
- *Прості сенсори. Пасивні та активні сенсори. Сенсорні комп'ютерні системи. Інтелектуальні сенсори*
- *Характеристика перетворення. Статичні характеристики сенсорів. Динамічні характеристики сенсорів. Старіння і надійність сенсорів*
- *Оптичні сенсори. Принципи роботи оптичних сенсорів на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР)*
- *Люмінесцентні сенсори. Люмінесцентні сенсори на поруватому Si*
- *Тензо і p'єзо сенсори. Газові сенсори*
- *Сенсори тепла. Сенсори переміщення. Акустичні сенсори*
- *Про мікросистемні технології*
- *Сенсори на основі метал-оксидних напівпровідників. Механізми провідності метал-оксидних сенсорів*
- *Аспекти феноменологічної теорії чутливості напівпровідникових сенсорів.*
- *Основні властивості кінетики Ленгмюра.*
- *Особливості характеристик наноматеріалів*
- *Наноструктуровані матеріали TiO₂ та ZnO у сенсорних застосуваннях. Застосування квантових точок у сенсоріці*

5. Індивідуальні завдання (6 год.)

Теми індивідуальних завдань:

1. Статичні характеристики: чутливість, роздільна здатність, лінійність, дрейф нуля, робочий діапазон, повторюваність, відтворюваність. Математична формула передаточної функції.
2. Застосування сенсорів на явищі ППР для аналізів.
3. Вплив адсорбції на люмінесценцію поруватого Si. Сенсори на основі ефекту Холла.
4. Основні технічні параметри і характеристики резистивних газових сенсорів.
5. Основні технічні характеристики і параметри температурних сенсорів.
6. Зонна енергетична діаграма на поверхні напівпровідника. Рівняння Пуассона.

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

8. Методи контролю

Формами контролю навчальних здобутків студентів можуть бути поточний контроль: конспект лекцій; оцінка активності роботи на лекціях; аудиторне поточне опитування; домашні завдання.

Підсумковий семестровий контроль (екзамен). Підсумкові бали для оцінки знань студентів розраховуються таким чином:

№	Вид роботи	Форма контролю	Число балів
1.	Лекції	Контрольна робота	20
2.	Реферати (індивідуальні завдання)	Доповідь	15
3.	Поточний контроль	конспект	5
	Сума		40

Схема нарахування балів

Форма контролю				Екзаменаційна робота	Сума
Підсумкові бали за поточний контроль	Індивідуальні завдання	Контрольна робота	Разом		
5	15	20	40	60	100

9. Критерії оцінювання навчальних досягнень

Підсумковий семестровий контроль (екзамен) проводиться у усній 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		
60-69	E	задовільно	не зараховано
35-59	FX	незадовільно	
1-34	F		

10. Рекомендована література

Основна література

1. В.А.Сминтина, В.А.Борщак, С.В.Бритавський, А.О.Карпенко. Неідеальні гетеропереходи для сенсорів зображення: монографія.- Одеса: ОНУ імені І.І.Мечникова, 2014.-180с.
2. В.А.Сминтина. Електронно-молекулярні явища на поверхні напівпровідників: напівпровідникові газові сенсори : монографія.- Одеса: Астропринт, 2009.-280с.
3. Гоман В. И. Физика полупроводниковых газовых сенсоров: монография. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 112 с.
4. Датчики (перспективные направления развития). Учебное пособие // Колл. авторов: Алейников А. Ф., Гридчин В. А., Цапенко М. П. / Под ред. проф. М. П. Цапенко. - Новосибирск: НГТУ, 2001. – 176 с.
5. Джексон Р. Г. Новейшие датчики. – Москва: Техносфера, 2007. – 384 с.
6. Основы биосенсорики / Евтюгин Г. А., Будников Г. К., Стойкова Е. Е. – Казань, Казанский государственный университет им. В. И. Ульянова-Ленина, 2007. – 80 с.
7. Скришевский В. А. Фізичні основи напівпровідникових хімічних сенсорів. Навчальний посібник / За ред. О. В. Третяка. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. – 190 с.
8. Фізичні основи сенсорики. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності «Фізична та біомедична електроніка» денної та заочної форм навчання // Укл.: Г. Г. Коломоєць. – Запоріжжя, 2014. – 63 с.
9. Фізичні основи сенсорики. Навчальний посібник / Горват А. А., Височанський Ю. М. – Ужгород: УжНУ, 2007. – 120 с.

10. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
11. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи). Учеб. пособие для вузов // Левшина Е. С., Новицкий П. В. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отделение, 1983. – 320 с.
12. *Аш Ж.* Датчики измерительных систем. Кн. 1. — М.: Мир, 1992. — 419 с.

Додаткова література

1. Интеллектуальные сенсоры. Лекции // <http://www.intuit.ru/studies/courses/590/446/info/> (29.03.2018).
2. Квантовые точки как сенсор на пестициды // <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2011/kvantovye-tochki-kak-sensor-na-pestitsidy/> (29.03.2018).
3. *Коломоєць Г. Г.* Фізичні основи сенсорики. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності «фізична та біомедична електроніка» денної та заочної форм навчання/Укл.: Г. Г. Коломоєць.-Запоріжжя, 2014.-63 с.
4. Электротехническая энциклопедия № 16. Датчики // <http://electrolibrary.info/subscribe/sub16datchiki.htm/> (29.03.2018)
5. Наносенсоры /cryogenic.physics.by/download/presentation/Наносенсоры.%20Введение.pdf/
6. Олейников В. Квантовые точки – наноразмерные сенсоры для медицины и биологии // <http://biomolecula.ru/articles/kvantovye-tochki-nanorazmernye-sensory-dlia-meditsiny-i-biologii/> (29.03.2018).

11. Електронні інформаційні ресурси

1. www.zgia.zp.ua/gazeta/PKJ_Prakt.pdf
2. <https://studfiles.net/preview/4031468/>
3. https://radfiz.org.ua/files/NOT%20SORTED/zemskoff../Tretyak_Lozovsky_2.pdf