

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

НАПІВПРОВІДНИКОВА СЕНСОРИКА

(назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти третій (освітньо-науковий) рівень – доктор філософії

Галузь знань 10 – природничі науки

(цифр і назва)

Спеціальність 104 - фізика та астрономія

(цифр і назва)

Освітня програма фізика та астрономія

Вид дисципліни вибіркова

Факультет математики, фізики, та інформаційних технологій

(назва факультету)

2020 / 2021 навчальний рік

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

Розробник програми:

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

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 «Напівпровідникова сенсорика» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії). Галузь знань: 10 – «Природничі науки». Спеціальність: 104 – «Фізика та астрономія».

Освітньо-наукова програма: « Фізика та астрономія».

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. **Метою** викладання навчальної дисципліни є підготовка висококваліфікованих фахівців, професійно орієнтованих в сучасних проблемах фізики і астрономії. Одержання поглиблених знань про фізичні основи і принципи роботи сенсорів, про основні поняття і закономірності електронно-молекулярних взаємодій на поверхні напівпровідникових сенсорів, про процеси формування адсорбційних властивостей в процесі виготовлення і подальшої обробки напівпровідникових матеріалів.

Завдання. Ознайомлення з узагальненими поняттями про сенсори їх призначення та фізичні принципи їх дії.

Засвоєння дисципліни «Напівпровідникова сенсорика» сприятиме подальшому засвоєнню дисциплін за вибором з циклу професійної підготовки, успішному виконанню науково-дослідної роботи за обраним напрямом фізики та астрономії.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є:

засвоєння аспірантами загальних тенденцій розвитку фізики і астрономії як в цілому у світовій науці, так і зокрема в Одеському національному університеті імені І.І.Мечникова.

Інтегральна компетентність (ІК) - здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

Загальні компетентності:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК 1);
- Здатність управління інформацією (пошук, оброблення та аналіз інформації з різних джерел) (ЗК 2);
- Здатність проведення самостійних досліджень (ЗК 9).

Фахові компетентності:

- Здатність застосовувати знання фізики напівпровідників для дослідження властивостей об'ємних та низько розмірних напівпровідників (ФК 4);
- Вміння проводити спектральні дослідження біологічних та біосумісних наноструктурованих об'єктів з метою захисту навколишнього середовища і людини, ранньої фізичної діагностики (ФК 5);
- Усвідомлення мети й завдань сучасної фізики та астрономії, здатність вирішувати проблеми й задачі інноваційного характеру в одній із галузей фізики або астрономії (ФК 9);

1.3. Кількість кредитів 3

1.4. Загальна кількість годин 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Обов'язкова/ <u>за вибором</u>
Денна форма навчання
Рік підготовки
2-й
Лекції
16 год.
Практичні/семінарські
14 год.

Лабораторні
-
Самостійна робота
60 год.
У тому числі індивідуальні завдання
Підготовка реферату за темою: Роль напівпровідникової сенсорики в дослідженнях за напрямом наукової роботи аспіранта

1.6. Заплановані результати навчання:

Згідно з освітньо-науковою програмою «Напівпровідникова сенсорика» спеціальності 104 – «Фізика та астрономія» аспіранти можуть досягти **наступних результатів навчання:**

- Знати актуальні напрями наукових досліджень з фізики і астрономії та аналізувати історію розвитку фізики та астрономії в порівнянні з сучасною проблематикою науки (ПР1.2) ;
- Володіти різноманітними методами наукових досліджень, узагальнювати одержані наукові результати з урахуванням існуючих сучасних досягнень фізики, астрономії (ПР2.2) ;
- Вміти визначати рівні забруднення повітряного середовища, використовуючи сенсорні системи моніторингу з урахуванням різних критеріїв і природоохоронних задач (ПР2.5).

2. Тематичний план навчальної дисципліни 2-й рік

Розділ 1. Класифікація сенсорів за призначенням, за принципом їх дії.

Тема 1. Прості сенсори. Пасивні та активні сенсори. Сенсорні комп'ютерні системи. Інтелектуальні сенсори.

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 2. Характеристика перетворення. Статичні характеристики сенсорів. Динамічні характеристики сенсорів. Надійність і старіння 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 3. Оптичні сенсори. Принцип роботи 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 4. Люмінесцентні сенсорі. Люмінесцентні сенсорі на поруватому Si.

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

Тема 5. Сенсорі тепла. Сенсорі переміщення. Акустичні сенсорі.

Фундаментальні властивості тепла. Сенсорі терморезистори. Термопари. Напівпровідникові діоди – як сенсорі температури. Пірометри. Теплоізори. 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. Сенсорі на поверхневих акустичних хвилях. Акустичні сенсорі як прослуховуючі пристрої. Активні акустичні сенсорі.

Розділ 3. Напівпровідникові сенсорі.

Тема 6. Сенсорі 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. Сенсорі порошкового типу. Сенсорі плівкового типу. Характеристики метал-оксидних сенсорів.

Тема 7. 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 8. 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.

Тема 9. Наноструктуровані матеріали TiO_2 та ZnO у сенсорних застосуваннях. Застосування квантових точок у сенсоріці.

Оптичні біосенсорі на базі наноструктурованих TiO_2 , ZnO : визначення, переваги та перспективи. Ефективність роботи біосенсорів. Фотолюмінесценція тонких плівок ZnO для визначення вірусу скручування листя винограду (GVA). Фотолюмінесценція наночастинок

TiO₂ для визначення наявності вірусу Сальмонелли. Молекулярні сенсори. Квантові точки ZnCdSe – сенсори на пестициди.

3. Структура навчальної дисципліни

Тема	Кількість годин					
	Усього	Лек.	Пр.	Лаб.	Інд.	СР
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Класифікація сенсорів за призначенням, за принципом їх дії						
<i>Тема 1. Прості сенсори. Пасивні та активні сенсори. Сенсорні комп'ютерні системи. Інтелектуальні сенсори</i>		1	2	-	-	4
Розділ 2. Характеристики сенсорів. Фізичні основи і принципи роботи сенсорів						
<i>Тема 2. Характеристика перетворення. Статичні характеристики сенсорів. Динамічні характеристики сенсорів. Надійність і старіння сенсорів</i>		2	2	-	-	8
<i>Тема 3. Оптичні сенсори. Принцип роботи сенсорів на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР)</i>		2	1	-	-	8
<i>Тема 4. Люмінесцентні сенсори. Люмінесцентні сенсори на поруватому Si</i>		2	1			8
<i>Тема 5. Сенсори тепла. Сенсори переміщення. Акустичні сенсори.</i>		1	1			8
Розділ 3. Напівпровідникові сенсори						
<i>Тема 6. Сенсори на основі метал-оксидних напівпровідників. Механізми провідності метал-оксидних сенсорів</i>		2	1	-	-	6
<i>Тема 7. Аспекти феноменологічної теорії чутливості напівпровідникових сенсорів</i>		2	2	-	-	6
<i>Тема 8. Основні властивості кінетики Ленгмюра.</i>		2	2	-	-	6
<i>Тема 9. Наноструктуровані матеріали TiO₂ та ZnO у сенсорних застосуваннях. Застосування квантових точок у сенсоріці.</i>		2	2			6
Усього годин	90	16	14	-	-	60

4. Завдання для самостійної роботи (60 год.)

- сенсори тепла (терморезистори, напівпровідникові діоди, пірометри, тепловізори), їх основні характеристики і параметри
- сенсори переміщення, ємнісні сенсори, індукційні, хроматографічні, трансформаторні
- глобальна система орієнтування
- акустичні сенсори, сенсори на об'ємних та поверхневих акустичних хвилях, активні акустичні сенсори, акустичні сенсори як прослуховуючі пристрої
- мікросистемні технології
- сенсори на основі елементарних динарних та складних напівпровідникових структур
- сенсори на основі метал-оксидних напівпровідників
- механізм провідності метало-оксидних сенсорів
- аспекти феноменологічної теорії чутливості напівпровідникових сенсорів
- основи властивості кінетики Ленгмюра
- сенсори на основі наноматеріалів
- застосування квантових точок у сенсоріці

5. Індивідуальні завдання (6 год.)

Теми індивідуальних завдань:

1. Фундаментальні властивості тепла.
2. Характеризація положення тіла в просторі
3. Сенсори коливальних систем.
4. Основні властивості акустичних хвиль
5. Характеристики метало-оксидних сенсорів.
6. Експериментальне визначення енергетичних параметрів газових сенсорів

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 (залік). 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				залікова 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 (залік) проводиться у усній формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 30 бальною шкалою. Критерії оцінювання теоретичного питання:

- повна розгорнута відповідь – 30 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь – 20 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 15 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 заліку, 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	Е		
35-59	FX	незадовільно	не зараховано
1-34	F		

10. Рекомендована література

Основна література

1. В.А.Сминтина, В.А.Борщак, Є.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. 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-medsiny-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