

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

Фізико-хімічні та фотоелектронні процеси на поверхні твердих тіл
(назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 10 – природничі науки
(шифр і назва)

Спеціальності 104-Фізика та астрономія
(шифр і назва)

Освітні програми Фізика та астрономія

Вид дисципліни вибіркова

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 «Фізико-хімічні та фотоелектронні процеси на поверхні твердих тіл» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки другого (освітньо-професійного) рівня вищої освіти (магістр з фізики та астрономії). Галузь знань: 10 – Природничі науки. Спеціальність: 104-Фізика та астрономія. Освітньо-професійна програма: «Фізика та астрономія».

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є:

одержання поглиблених знань про фізико-хімічні, фотоелектронні та молекулярні процеси і явища, які розвиваються на поверхні твердих тіл. Знання, що отримують студенти з навчальної дисципліни, є базовими для блоку дисциплін з фізики та астрономії, що забезпечують природничо-наукову та професійно-практичну підготовку.

1.2. Основним завданням вивчення дисципліни є:

формування у студентів поглиблених знань про фізико-хімічні, фотоелектронні та молекулярні процеси і явища, які розвиваються на поверхні твердих тіл, методи їх вивчення, встановлення їх закономірностей та здобуття практичних навичок і умінь, які необхідні щоб аналізувати і описувати напівпровідникові поверхневі структури.

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 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
за вибором (спеціальність-104)
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Лекції
20 год.
Практичні/семінарські

Лабораторні
10
Самостійна робота
60 год.
В тому числі індивідуальні завдання.

1.6. Заплановані результати навчання:

Згідно з освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія» студенти можуть досягти наступних програмних результатів навчання.

Спеціальність 104-фізика та астрономія:

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).

ПР3. Уміння цілеспрямовано обирати предмет, об'єкт та методи фізичних або астрономічних досліджень.

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. Область просторового заряду біля поверхні напівпровідника.

Елементи теорії Гаретта та Бреттена

Тема 1. Утворення області просторового заряду (ОПЗ). Основні характеристики і позначення ОПЗ. Різновиди ОПЗ. Поверхня напівпровідника з n-типом провідності у відсутності прикладеного до нього зовнішнього електричного поля. Зонна енергетична діаграма напівпровідника з ОПЗ біля поверхні. Енергетична діаграма напівпровідника з n-типом провідності з ОПЗ на поверхні. Безрозмірні потенціали. Зонна енергетична діаграма напівпровідника n-типу з поверхнею, збагаченою основними носіями струму. Зонна енергетична діаграма з ОПЗ, збідненою основними носіями струму. Зонна енергетична діаграма напівпровідника n-типу для випадку інверсії в ОПЗ.

Тема 2. Основні задачі та припущення в теорії області просторового заряду. Вихідні положення та елементи теорії ОПЗ Гаретта та Бреттена. Фізична поверхня, яка складається з геометричної поверхні та області просторового заряду. Залежність

протяжності фізичної поверхні в глибину напівпровідника від поверхневого явища та характерної для нього довжини.

Тема 3. Вихідні положення та елементи теорії ОПЗ Гаретта та Бреттена. Рішення рівняння Пуассона. Напівпровідник не вироджений і в об'ємі, і на поверхні, у якому повністю іонізовані домішки. Напівпровідник n-типу з ОПЗ, збагаченою електронами. Збіднення ОПЗ основними носіями струму в напівпровіднику n-типу. Інверсія знаку основних носіїв в ОПЗ.

Тема 4. Електростатичне екранування об'єму областю просторового заряду. Надлишковий заряд поверхні напівпровідника. Подвійний заряджений шар. Фізичний зміст дебаєвської довжини екранування.

Розділ 2. Фізичні характеристики поверхні напівпровідників.

Тема 5. Надлишковий заряд поверхні напівпровідника. Залежність поверхневого надлишкового заряду від Y_s . Використання залежності густини поверхневого та об'ємного зарядів від вигину зон для аналізу електронних, іонних та інших процесів на поверхні напівпровідників. Поверхневі надлишки електронів і дірок. Вираз для повного заряду ОПЗ. Залежність величин надлишкових концентрацій електронів та дірок від вигину зон.

Тема 6. Поверхнева провідність. Залежність поверхневої провідності G_s від поверхневого електростатичного потенціалу Y_s . Метод поверхневої провідності для визначення електростатичного поверхневого потенціалу. Залежність концентрації і поверхневого надлишку електронів від координати. Залежність питомої поверхневої провідності від електростатичного поверхневого потенціалу для напівпровідника n-типу. Залежність питомої поверхневої провідності від електростатичного поверхневого потенціалу у напівпровіднику з власною провідністю. Експериментальна залежність $G_s(Y_s)$ напівпровідника n-типу провідності.

Тема 7. Поверхнева ємність. Поверхнева фотоерс та її природа. Фотоерс області просторового заряду. Ємність ОПЗ напівпровідника. Власний напівпровідник. Домішковий або невласний напівпровідник. Ємність поверхневих станів C_{ss} . Фотоерс освітленого напівпровідника. Амбіполярна дифузія нерівноважних носіїв струму. Фотоерс в результаті перезарядки ПЛЕС.

Розділ 3. Електронні та молекулярні явища на реальній поверхні твердих тіл.

Тема 8. Електронно-молекулярні взаємодії на поверхні твердих тіл. Визначення параметрів поверхні методом ефекту поля. Класична теорія адсорбції і десорбції Ленгмюра. Кінетика адсорбції Ленгмюра. Особливості електронної теорії адсорбції та її труднощі: фізична, хімічна, активована адсорбція: електронні переходи, зміни поверхневих зарядів, потенціалу, роботи виходу та електропровідності твердого тіла при адсорбції. Експериментальні методи визначення характеристик адсорбційних процесів на поверхні твердих тіл. Експериментальні методи вивчення поверхневого вигину зон напівпровідникових структур. Вивчення параметрів поверхні методом ефекту поля. Стаціонарний інтегральний ефект поля. Метод диференціального ефекту поля. Кінетика ефекту поля. Метод ємнісного ефекту поля.

Тема 9. Основи теорії фотопровідності. Рівні Фермі. Означення фотопровідності та її кваліфікація. Практичне застосування фотопровідності напівпровідників. Рівноважні та нерівноважні носії струму. Переріз захвату носіїв рекомбінаційними центрами. Фоточутливість. Інтенсивність теплового збудження електронів з локальних центрів. Залежність положення рівня Фермі від температури. Квазістаціонарні рівні Фермі. Залежність положення квазістаціонарних рівнів Фермі від інтенсивності світла та температури. Формальна різниця між рекомбінаційними центрами та рівнями прилипання. Демаркаційні рівні.

Тема 10. Залежність фотоструму від інтенсивності збуджуючого світла. Лінійна залежність фотоструму від інтенсивності збуджуючого світла. Сублінійна залежність фотоструму від інтенсивності збуджуючого світла. Збільшення фото чутливості напівпровідника шляхом введення нових центрів рекомбінації. Сублінійність люксамперної характеристики. Температурне та оптичне гасіння фотопровідності. Залежність часу життя від положення рівня Фермі. Температурна залежність від часу життя.

3. Структура навчальної дисципліни

Тема	Кількість годин					
	Усього	Лек.	Пр.	Лаб.	Інд.	СР
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Область просторового заряду біля поверхні напівпровідника. Елементи теорії Гаретта та Бреттена						
<i>Тема 1. Утворення області просторового заряду (ОПЗ). Основні характеристики і позначення ОПЗ. Різновиди ОПЗ.</i>	10	2	-	2	-	6
<i>Тема 2. Основні задачі та припущення в теорії області просторового заряду. Вихідні положення та елементи теорії ОПЗ Гаретта та Бреттена</i>	8	2	-	-	-	6
<i>Тема 3. Вихідні положення та елементи теорії ОПЗ Гаретта та Бреттена. Рішення рівняння Пуассона</i>	8	2	-	-	-	6
<i>Тема 4. Електростатичне екранування об'єму областю просторового заряду. Надлишковий заряд поверхні напівпровідника</i>	10	2	-	2	-	6
Розділ 2. Фізичні характеристики поверхні напівпровідників.						
<i>Тема 5. Надлишковий заряд поверхні напівпровідника. Залежність поверхневого надлишкового заряду від Y_s.</i>	8	2	-	-	-	6
<i>Тема 6. Поверхнева провідність.</i>	10	2	-	2	-	6

<i>Залежність поверхневої провідності G_s від поверхневого електростатичного потенціалу Y_s Метод поверхневої провідності для визначення електростатичного поверхневого потенціалу.</i>						
<i>Тема 7. Поверхнева ємність. Поверхнева фотоерс та її природа. Фотоерс області просторового заряду</i>	10	2	-	2	-	6
Розділ 3. Електронні та молекулярні явища на реальній поверхні твердих тіл.						
<i>Тема 8. Електронно-молекулярні взаємодії на поверхні твердих тіл. Визначення параметрів поверхні методом ефекту поля.</i>	10	2	-	2	-	6
<i>Тема 9. Основи теорії фотопровідності. Рівні Фермі.</i>	8	2	-	-	-	6
<i>Тема 10. Залежність фотоструму від інтенсивності збуджуючого світла.</i>	8	2	-	-	-	6
Усього годин	90	20	-	10	-	60

4. Теми лабораторних занять

1. Визначення висоти контактного бар'єру поверхнево-бар'єрної структури методом вольт-амперної характеристики.
2. Дослідження випрямляючих діодів.
3. Визначення поверхневого розподілу потенціалу.
4. Визначення дифузійної довжини неосновних носіїв заряду при неоднорідному освітленні поверхні.
5. Визначення швидкості поверхневої рекомбінації.

5. Завдання для самостійної роботи

1. Підготовка теоретичного матеріалу за темами:
 - Утворення області просторового заряду (ОПЗ). Основні характеристики і позначення ОПЗ. Різновиди ОПЗ.
 - Основні задачі та припущення в теорії області просторового заряду. Вихідні положення та елементи теорії ОПЗ Гаретта та Бреттена
 - Вихідні положення та елементи теорії ОПЗ Гаретта та Бреттена. Рішення рівняння Пуассона
 - Електростатичне екранування об'єму областю просторового заряду. Надлишковий заряд поверхні напівпровідника
 - Надлишковий заряд поверхні напівпровідника. Залежність поверхневого надлишкового заряду від Y_s
 - Поверхнева провідність. Залежність поверхневої провідності G_s від поверхневого

- електростатичного потенціалу Y_s Метод поверхневої провідності для визначення електростатичного поверхневого потенціалу.
- Поверхнева ємність. Поверхнева фотоерс та її природа. Фотоерс області просторового заряду
 - Електронно-молекулярні взаємодії на поверхні твердих тіл. Визначення параметрів поверхні методом ефекту поля.
 - Основи теорії фотопровідності. Рівні Фермі.
 - Залежність фотоструму від інтенсивності збуджуючого світла.
2. Підготовка до лабораторних робіт та складання звітів.

6. Індивідуальні завдання

Теми індивідуальних завдань:

1. Основні задачі, які вирішуються при теоретичному аналізі поверхневих явищ у напівпровідниках.
2. Поняття поверхневих надлишків дірок та електронів в ОПЗ напівпровідника.
3. Основні припущення які зробили Гаррет та Бреттайн для розвитку теорії ОПЗ.
4. Метод поверхневої провідності для визначення електростатичного поверхневого потенціалу.
5. Особливості електронної теорії адсорбції та її труднощі: фізична, хімічна, активована адсорбція: електронні переходи, зміни поверхневих зарядів, потенціалу, роботи виходу та електропровідності твердого тіла при адсорбції.
6. Параметри поверхні методом ефекту поля.
7. Означення фотопровідності та її кваліфікація. Практичне застосування фотопровідності напівпровідників.
8. Квазістаціонарні рівні Фермі. Залежність положення квазістаціонарних рівнів Фермі від інтенсивності світла та температури.
9. Лінійна та сублінійна залежність фотоструму від інтенсивності збуджуючого світла.
10. Залежність часу життя від положення рівня Фермі. Температурна залежність від часу життя.

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 лабораторних занять використовуються наступні методи навчання: частково-пошуковий, або евристичний метод; дослідницький 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; звіт за виконаною лабораторною роботою, 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.	Лабораторні роботи	Поточний контроль.	5

		Звіти за виконання робіт	15
3.	Сума		40

Схема нарахування балів

Форма контролю				Екзаменаційна робота	Сума
Підсумкові бали за поточний контроль	Звіти за лабораторні роботи	Контрольна робота	Разом		
5	15	20	40	60	100

9. Критерії оцінювання навчальних досягнень

Підсумковий семестровий контроль (екзамен) проводиться у письмовій формі, або усно. 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	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендована література

Перелік навчально-методичної літератури

1. Сминтина В.А. Фотоелектронні та фотоелектричні процеси у напівпровідниках. Підручник . Одеса: ОНУ імені І.І.Мечникова, 2018.-220с.
2. Сминтина В.А. Поверхневі явища в напівпровідниках. Підручник. Одеса: ОНУ імені І.І.Мечникова, 2016.-224с.
3. Сминтина В.А. Фізико-хімічні явища на поверхні твердих тіл. Підручник. Одеса: Астропринт, 2009.-192с.
4. Сминтина В.А. Электронно-молекулярные явления на поверхности полупроводников.- Одесса:Астропринт, 2009.-280с.
5. Сердюк В.В., Чемересюк Г.Г., Терек М. Фотоэлектрические процессы в полупроводниках. // К.: Вища школа.-1982.
6. Кисельов В.Ф. Поверхневі явища у напівпровідниках і діелектриках. М., Наука, 1970.
7. Ржанов О.В. Електронні процеси на поверхні напівпровідників.-М.: Наука, 1971.
8. Панков Дж. Оптичні процеси в напівпровідниках. М., Мир, 1972.
9. Волькенштейн Ф.Ф., Горбань А.Н., Соколов В.А. Радикало-рекомбинационная люминесценция полупроводников.- М.: Наука, 1976.
10. Зуєв В.В., Саченко А.В., Толлиго К.Б. Нерівноважні приповерхневі процеси у напівпровідниках та напівпровідникових приладах.- М., Радіо, 1977.
11. Під ред.акад.Снітко О.В. Проблеми фізики поверхні напівпровідників. К., Наукова думка, 1981.
12. Пека Г.П. Фізичні явища на поверхні напівпровідників. К., Вища школа, 1984.
13. Valentyn Smyntyna. Electron and Molecular Phenomena on the Surface of Semiconductors // Nova Publishers. – New York. – 2013. – 208 P.
14. Valentyn Smyntyna. Semiconductor Materials for Gas Sensors // Nova Publishers. – New York. –2013. – 195 P.

Додаткова

1. Воронцов В.Ф., Хевеши И. Оптические свойства полупроводников. - Одесса: ОГУ, 1980.
2. Гурвич А.М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров.- М. Высш. шк. , 1982.
3. А.В.Ржанов. Электронные процессы на поверхности полупроводников.- М.: Наука.-1971.-480с.
4. В.Ф.Киселев, О.В.Крылов. Адсорбционные процессы на поверхности полупроводников.-М.:Наука.-1978.-255с.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

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

