Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
Факультет математики, фізики та інформаційних технологій
Кафедра фізики та астрономії

Силабус курсу
Фізико-хімічні та електронні процеси на поверхні твердих тіл

Обсяг	4 кредита, 120 год.
Семестр, рік навчання	1, семестр, 1-й рік навчання
Дні, час, місце	Понеділок, Четвер, 12.50, ауд.3, Пастера 42
Викладач (-і)	Проф. Сминтина В.А.
Контактний телефон	0674806610
E-mail	smyntyna@onu.edu.ua
Робоче місце	Вул. Пастера 42, ауд. 6
Консультації	Очні консультації: понеділок, 14.30-17.00, вул Пастера 42, ауд. 3

КОМУНІКАЦІЯ

Комунікація зі студентами: E-mail: smyntyna@onu.edu.ua; Viber; очні зустрічі (Номер телефону для контакту у Viber та Telegram).

АНОТАЦІЯ КУРСУ

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.

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 дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

***Загальні компетентності**, ЗК:*

ЗК 01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

***Спеціальні компетентності**, СК:*

СК 02. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії.

СК 05. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

СК 08. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

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

РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем

РН02. Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень

РН08. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напряму фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємо-корисно спілкуючись із колегами.

РН12. Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи

ОПИС КУРСУ

Форми і методи навчання

Курс буде викладений у формі лекційних (20 год) та лабораторних (занять (20 год) та організації самостійної роботи студентів (80 год.).

Під час занять використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод; інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція-відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий метод.

Під час лабораторних занять та самостійної роботи використовується дослідницький метод (студент опановує літературу за вказаною темою).

Зміст навчальної дисципліни

3.Зміст навчальної дисципліни

Змістовний модуль 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.

Змістовний модуль 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 відповерхневого 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.

Змістовний модуль 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.

Рекомендована література
Основна

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. Ніколайчук Г.П. Фізика напівпровідників та напівпровідникових приладів /– Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – 100 с

5. Царенко О.М. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів:навчальний посібник. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім.В.Винниченка, 2011. – 243с.

Допоміжна

1. Воронцов В.Ф., Хевеши И. Оптические свойства полупроводников. - Одесса: ОГУ, 1980.

2. Сердюк В.В., Чемересюк Г.Г., Терек М. Фотоэлектрические процессы в полупроводниках. // К.: Вища школа.-1982.

3.Valentyn Smyntyna. Electron and Molecular Phenomena on the Surface of Semiconductors/New York: Nova Publisher, 197p.

Інформаційні ресурси

1. phys.onu.edu.ua

2. lib.onu.edu.ua

3. https://archive.org/details/osnovy-fizyky-napivprovidnykiv-1-tom-2007

ОЦІНЮВАННЯ

Поточний контроль здійснюється за результатами виконання 2 контрольних робіт за змістовними модулями Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування на лекції, написання звітів до лабораторних робіт, їх захист, розв’язання практичних задач. Підсумковий семестровий контроль (- іспит).

Критерії оцінювання виконання лабораторних робіт

Студент повинен виконати всі лабораторні роботи. За виконання розрахунків та оформлення роботи згідно вимог методичних вказівок до лабораторних робіт нараховується 3 бали за кожну роботу. При захисті роботи, за кожну правильну відповідь на запитання додається 1 бал. За неповну відповідь, відповідь, що містить несуттєві помилки додається 1 бал. За неправильну відповідь, або її відсутність бали не додаються. Максимальна кількість балів за лабораторну роботу не повинна перевищувати 5 балів. При виставленні підсумкової оцінки складаються.

Критерії оцінювання підсумкового контролю

Підсумковий семестровиый контроль (іспит) проводиться в усній формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 12 бальною шкалою.

Критерії оцінювання теоретичного питання:

– повна розгорнута відповідь – 12 балів;
– повна, але не розгорнута відповідь – 10 балів;
– повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 9 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
– неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 5 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 здобувач отримав на іспиті, 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

Розподіл балів, які отримують здобувачі

Змістовний модуль 1 Поточний контроль на лекціях				Контрольна робота	Виконання і захист лабораторних робіт	Разом	Іспит	Разом
Т1	**Т2**	**Т3**	**Т4**		50	76	24	100
1	**1**	**1**	**1**	**5**				
Змістовний модуль 2 Поточний контроль на лекціях								
Т1	**Т2**	**Т3**						
1	**1**	**1**		**5**				
Змістовний модуль 3 Поточний контроль на лекціях								
Т1	**Т2**	**Т3**						
1	**1**	**2**		**5**				

ПОЛІТИКА КУРСУ

Визначається нормативними документами/Положеннями, які є чинними в ОНУ імені І.І.Мечникова (https://onu.edu.ua/uk/geninfo/official-documents).

Дедлайн виконання завдань з курсу визначає викладач. В разі поважних причин, перенесення терміну виконання завдань дозволяє викладач. Перескладання заборгованостей – з дозволу деканату.

Кожен студент повинен пам’ятати про академічну доброчесність що забезпечується самостійним виконанням навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю, належним посиланням на джерела інформації у разі виконання творчих робіт, дотриманням норм законодавства про авторське право і суміжні права, наданням достовірної інформації про результати власної наукової діяльності.

За порушення академічної доброчесності здобувачі освіти можуть бути притягнуті до академічної відповідальності згідно Положенню про академічну доброчесність в ОНУ імені І.І.Мечникова. (https://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/documents/acad-dobrochesnost.pdf).

Відвідування занять для студента 1-го курсу є обов’язковим, як і своєчасний прихід на заняття. Мобільні пристрої під час навчання повинні бути заблоковані.