

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
Факультет математики фізики і інформаційних технологій  
Кафедра фізики та астрономії  
**Силабус курсу**

**ВБ 8.1 «Фізика напівпровідників і напівпровідникових приладів»**

<b>Обсяг</b>	6 кредитів, 180 годин
<b>Семестр, рік навчання</b>	7-й, 4-й
<b>Дні, час, місце</b>	Лекції: понеділок 11.30–14.10, ауд.6, вул.Пастера,42. Лабораторні заняття: вівторок 12.50-15.40, лаб. 8, вул. Пастера, 42
<b>Викладач (-і)</b>	Чебаненко Анатолій Павлович. Кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики і астрономії
<b>Контактний телефон</b>	098 7702904
<b>E-mail</b>	chebanenko@onu.edu.ua
<b>Робоче місце</b>	вул. Пастера, 42, лаб. 8
<b>Консультації</b>	<i>Очні консультації:</i> середа, 15.40-16.40, лаб. 8, вул. Пастера, 42. <i>Онлайн-консультації :</i> вівторок, 15.40-16.40, в програмі Diskord, сервер <a href="https://discord.gg/FKR3v4X">https://discord.gg/FKR3v4X</a>

**КОМУНІКАЦІЯ** зі студентами буде здійснюватись шляхом очних зустрічей, за допомогою сервера Diskord, з використанням E-mail та телефону.

### **АНОТАЦІЯ КУРСУ**

*Предметом* вивчення навчальної дисципліни є електричні властивості напівпровідників, оптичні, люмінесцентні, фотоелектричні та контактні явища в напівпровідниках, будова, принцип дії, характеристики основних напівпровідникових приладів з *p-n*-переходами, гетеропереходами, МОН-структурами.

*Місце навчальної дисципліни в структурі освітнього процесу.* Курс «Фізика напівпровідників і напівпровідникових приладів» вивчається у 7-му семестрі, коли у здобувачів першого рівня вищої освіти вже є достатні знання з дисциплін «Математичний аналіз», «Диференціальні та інтегральні рівняння», «Механіка», «Електрика та магнетизм», «Оптика», «Основи сучасної електроніки», «Фізика атома», «Електродинаміка», «Квантова механіка». Знання, здобуті студентами з дисципліни «Фізика напівпровідників і напівпровідникових приладів» є основою для подальшого вивчення дисциплін спеціальності «Фізика і астрономія» та виконання кваліфікаційної роботи.

*Метою* навчальної дисципліни є підготовка фахівців, здатних розв'язувати спеціалізовані складні задачі і практичні проблеми, пов'язані з

дослідженням процесів та явищ в області фізики напівпровідників у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання.

**Завдання дисципліни:** Ознайомити здобувачів першого рівня вищої освіти з основами зонної теорії напівпровідників, статистикою носіїв заряду, механізмами розсіяння носіїв заряду в напівпровідниках, основними оптичними, люмінесцентними та фотоелектричними явищами, теорією контакту метал-напівпровідник та  $p-n$ -переходу, фізичними основами функціонування різноманітних напівпровідникових приладів: діодів, біполярних та польових транзисторів, приладів з зарядовим зв'язком, багат шарових напівпровідникових структур та інших пристроїв сучасної напівпровідникової електроніки; Сформувати у здобувачів першого рівня вищої освіти вміння використовувати теоретичні положення фізики напівпровідників для пояснення та аналізу фізичних процесів, що відбуваються в напівпровідниках та напівпровідникових структурах; Сформувати у здобувачів першого рівня вищої освіти вміння проводити експериментальні дослідження напівпровідників, обробку та аналіз експериментальних результатів, навчити основним способам розв'язування теоретичних задач з фізики напівпровідників

**Очікувані результати** . В результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти буде **знати:** модельні уявлення про механізми власної та домішкової електропровідності напівпровідників; поняття про зонну теорію твердого тіла; статистику носіїв заряду в напівпровідниках; уявлення про теплові коливання атомів кристалічної решітки та механізми розсіяння носіїв заряду в напівпровідниках; механізми поглинання напівпровідниками електромагнітного випромінювання; основні фотоелектричні явища та механізми люмінесценції у напівпровідниках; теорію запертого та омичного контакту метал-напівпровідник, теорію електронно-діркового  $p-n$  –переходу; будову, принцип дії основних типів напівпровідникових діодів, біполярних та польових транзисторів, їх характеристики, застосування гетеропереходів для створення приладів напівпровідникової електроніки.

**Вміти:** записувати і аналізувати основні співвідношення, що описують концентрації носіїв заряду в напівпровідниках, положення рівня Фермі та його залежність від температури, форму краю оптичного поглинання, основні співвідношення для фотопровідності напівпровідників та її залежності від енергії, інтенсивності електромагнітного опромінення, температури, співвідношення для контакту метал-напівпровідник та для  $p-n$  –переходу; формулювати основні означення фізики напівпровідників та основних параметрів напівпровідникових приладів, аналізувати їх залежність від різноманітних технологічних і зовнішніх факторів; експериментально досліджувати електричні, фотоелектричні та оптичні властивості напівпровідників, характеристики основних напівпровідникових приладів, аналізувати отримані результати та розраховувати із них параметри напівпровідників та напівпровідникових приладів; здійснювати пошук навчальної, наукової та довідкової літератури та інформаційних ресурсів.

## **ОПИС КУРСУ**

### ***Форми і методи навчання***

Курс буде викладений у формі лекцій (50 год.) та лабораторних занять (40 год.), організації самостійної роботи студентів (90 год.).

Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод; інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод; метод проблемного викладу; частково-пошуковий метод. Під час лабораторних занять використовуються наступні методи навчання частково-пошуковий, або евристичний метод, дослідницький; при захисті лабораторних робіт та індивідуальних завдань використовується дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод (студент опановує літературу за вказаною темою, робить презентацію або доповідь). Під час вивчення дисципліни передбачено проведення індивідуальних консультацій.

### ***Зміст навчальної дисципліни***

- Тема 1. Напівпровідники, загальна характеристика.
- Тема 2. Основи зонної теорії напівпровідників.
- Тема 3. Статистика електронів і дірок у напівпровідниках.
- Тема 4. Теплові коливання атомів кристалічної решітки.
- Тема 5. Розсіяння носіїв заряду в напівпровідниках.
- Тема 6. Оптичні явища в напівпровідниках.
- Тема 7. Люмінесценція напівпровідників.
- Тема 8. Фотоелектричні явища в напівпровідниках..
- Тема 9. Контактні явища в напівпровідниках.
- Тема 10. Напівпровідникові діоди.
- Тема 11. Біполярні транзистори.
- Тема 12. Польові транзистори.
- Тема 13. Гетероструктури.

### ***Перелік рекомендованої літератури***

#### **Основна**

1. Попик Ю.В. Фізика напівпровідників : підручник. Ужгород : ТОВ ІВА, 2014. 820 с.
2. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників : підручник. Київ : ВПЦ Київський ун-т, 2007. 338 с.
3. Царенко О.М. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів : навч. посіб. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2011. 243 с.
4. Фреїк Д.М., Чобанюк В.М., Готра З.Ю., Дзундза Б.С., Матеїк Г.Д., Ткачук А.І. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки : навч. посіб. Івано-Франківськ : Вид-во Прикарпатського НУ ім. В. Стефаника, 2010. 263 с.
5. Чебаненко А.П., Каракіс Ю.М. Фізика напівпровідників. Частина 1. Параметри і статистика носіїв заряду : навч.-метод. посіб. Одеса : ОНУ, 2019. 68 с.

6. Чебаненко А.П., Каракіс Ю.М. Фізика напівпровідників. Частина II. Рекомбінація носіїв заряду : навч.-метод. посіб. Одеса : ОНУ, 2020. 68 с.
7. Чебаненко А.П., Каракіс Ю.М. Фізика напівпровідників. Частина III. Процеси захоплення носіїв заряду : навч.-метод. посіб. Одеса : ОНУ, 2021. 60 с.
8. Чебаненко А.П., Конопельська Н.В., Каракіс Ю.М. Фізика напівпровідників та напівпровідникових приладів. Частина 1. Фізика напівпровідників : методичні вказівки. Одеса : ОНУ, 2019. 67 с.
9. Чебаненко А.П., Конопельська Н.В., Каракіс Ю.М. Фізика напівпровідників та напівпровідникових приладів. Частина 2. Фізика напівпровідникових приладів : методичні вказівки. Одеса : ОНУ, 2019. 62 с.

#### Додаткова

1. Попик Т.Ю., Попик Ю.В., Хархаліс Л.Ю. Фізика напівпровідників, лабораторний практикум : навч. посіб. Ужгород : ТОВ ІВА, 2015. 344 с.
2. Поплавко Ю.М., Ільченко В.І., Воронов С.А., Якименко В.І. Фізичне матеріалознавство. Частина 4. Напівпровідники : навч. посіб. Київ : Вид-во Політехніка НТУ України, 2010. 342 с.
3. Ковальов В.О., Телюта Р.В., Плешков С.П. Основи електроніки та мікросхемотехніки : навч. посіб. Кропивницький : РВЛ ЦНТУ, 2018. 197 с.
4. Готра З.Ю. Технологія електронної техніки : навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2010. 888 с.

**ОЦІНЮВАННЯ** проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: поточний контроль та самостійна робота 70% семестрової оцінки; підсумковий контроль 30% семестрової оцінки.

Поточний контроль здійснюється за результатами виконання двох контрольних робіт (до 10 балів за кожну) за змістовими модулями. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування на лекції (по 1 балу за кожну тему), написання звітів до лабораторних робіт, їх захист.

Студент повинен виконати всі лабораторні роботи. За виконання розрахунків та оформлення роботи згідно вимог методичних вказівок до лабораторних робіт нараховується 8 балів за кожну роботу. При захисті роботи, за кожну правильну відповідь на запитання додається 2 бали. 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 становить 15 балів. При виставленні підсумкових оцінок беруться середні арифметичні оцінки за всіма лабораторними роботами змістового модулю.

**Самостійна робота студентів** проводиться у формі вивчення тем з переліку, наведеного в п.8 (див. робочу програму). Результати вивчення теми представляються у вигляді доповіді або презентації, яка оцінюється за 2

бальною шкалою. При виставленні підсумкової оцінки за самостійну роботу береться середньо арифметична оцінка з усіх захищених тем. Здача доповідей (завдань) відбувається регулярно протягом семестру до початку екзаменаційної сесії згідно погодженого з викладачем графіку.

Максимальна сумарна кількість балів, отримана за поточний контроль та самостійну роботу за двома змістовими модулями становить 70 балів.

Підсумковий контроль - іспит проводиться в усній формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 15 бальною шкалою. Кількість балів, що здобувач отримав на іспиті, є сумою балів, що були отримані за кожне питання з екзаменаційного білету і може становити до 30 балів. Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю.

Отримання додаткових (бонусних) балів не передбачено.

## **ПОЛІТИКА КУРСУ**

**Політика щодо дедлайнів та перескладання:** Якщо студент виконав не всі складові поточного контролю або за результатами поточного та підсумкового контролю набрав менше 60 балів, йому призначається перескладання дисципліни. Терміни перескладання встановлюються деканатом.

**Політика щодо академічної доброчесності:** При вивченні дисципліни студент має дотримуватись Кодексу академічної доброчесності який означає, що вся робота при виконанні навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю має виконуватися індивідуально. Під час виконання самостійної роботи студенти можуть консультуватися з викладачами та з іншими студентами, але повинні самостійно розв'язувати завдання, керуючись власними знаннями, уміннями та навичками. Посилання на всі ресурси та джерела (наприклад, у звітах, самостійних роботах чи презентаціях) повинні бути чітко визначені та оформлені належним чином. У разі спільної роботи з іншими студентами над виконанням індивідуальних завдань, має бути зазначеним ступінь їх залученості до роботи. Неприйнятними є: використання під час контрольних заходів заборонених допоміжних матеріалів або технічних засобів (шпаргалок, конспектів, мікронавушників, телефонів, смартфонів, планшетів, тощо); використання родинних або службових зв'язків для отримання позитивної або вищої оцінки під час здійснення будь-якої форми контролю результатів навчання; проходження процедур контролю результатів навчання підставними особами.

**Політика щодо відвідування та запізнь:** Запізнення на заняття та пропуски занять без поважних причин є неприпустимими. Поважними причинами можуть бути хвороба студента (підтверджена медичними документами) або оформлений відповідним чином письмовий дозвіл деканату.

**Мобільні пристрої:** Користування в аудиторії (лабораторії) під час проведення занять мобільними телефонами, смартфонами, тощо забороняється.

***Поведінка в аудиторії:*** Під час навчального процесу в аудиторії (лабораторії) слід дотримуватись встановлених правил техніки безпеки. Забороняється приймати їжу, знаходитись в верхньому одязі, палити.