

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет електроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра фізичної та біомедичної електроніки

Затверджено

на засіданні кафедри фізичної та
біомедичної електроніки
факультету електроніки та комп'ютерних
технологій

Львівського національного
університету імені Івана Франка
(протокол № 1 від 28 серпня 2024 р.)

Завідувач кафедри Олег БОРДУН



Силабус з навчальної дисципліни
«Фізика електронних процесів»,
що викладається в межах ОПП «Електроніка та комп'ютерні
системи» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для
здобувачів з спеціальності 171 Електроніка

Львів 2024

Назва дисципліни	Фізика електронних процесів
Адреса викладання дисципліни	м. Львів, вул. Драгоманова, 50
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра фізичної та біомедичної електроніки
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації; спеціальність 171 Електроніка
Викладачі дисципліни	Максимич Віталій Миколайович, доктор філософії, асистент кафедри фізичної та біомедичної електроніки
Контактна інформація викладачів	vitalii.maksymych@lnu.edu.ua https://electronics.lnu.edu.ua/employee/maksymych-v-m/ факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра фізичної та біомедичної електроніки, вул. Драгоманова, 50, лаб.416
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекційних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через MS Teams. Для погодження часу он-лайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
Сторінка дисципліни	https://electronics.lnu.edu.ua/course/fizyka-elektronnykh-protsesiv/
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Фізика електронних процесів» є вибірковою дисципліною з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації, спеціальності 171 Електроніка, яка викладається у 5-му семестрі в обсязі 6 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Фізика електронних процесів» охоплює фундаментальні аспекти фізики, що стосуються електронних явищ у твердих тілах, зокрема в напівпровідниках, металах та діелектриках. Студенти вивчають процеси перенесення електронів, взаємодію зарядів із кристалічними ґратками, р-п переходи та квантові явища, що лежать в основі роботи електронних приладів. Курс зосереджений на вивченні механізмів провідності, явищ термоелектрики, електронної емісії у напівпровідникових структурах. Окремо розглядаються питання, пов'язані з процесами в приладах, таких як транзистори, діоди та інтегральні схеми, які є основою сучасної електроніки. Їхнє вивчення під час лекційних і лабораторних занять дасть змогу опанувати багато інших важливих курсів на факультеті електроніки.
Мета та цілі дисципліни	Метою дисципліни «Фізика електронних процесів» є поглиблення і розширення теоретичних знань в області електронних процесів, що відбуваються в напівпровідниках та металах при дії на них зовнішніх впливів, таких як температура, електричне та магнітне поле. Курс розкриває фізичні механізми функціонування сучасних електронних систем та комплексів, процесів переносу електричних зарядів у твердих тілах. Вивчення кінетичних та контактних явищ в напівпровідниках, на межах розділу середовищ сприяє розумінню принципів побудови і роботи сучасних електронних приладів різного призначення. Цілі вивчення дисципліни передбачають забезпечити розвиток навичок роботи з експериментальним обладнанням для дослідження електронних властивостей; сприяти розвитку вмінь критичного аналізу наукової інформації та її практичного застосування; стимулювати використання наукового підходу для вирішення теоретичних і прикладних задач

<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<p align="center">Рекомендована література</p> <p align="center">Базова:</p> <p>1) С.М. Левитський.– <i>Фізична електроніка</i> / Київський національний університет ім. Т. Шевченка, 2005.– с. 153.</p> <p>2) В.О. Москалюк. – <i>Фізика електронних процесів. Динамічні процеси</i> / Київ «Політехніка», 2004. – с.180</p> <p>3) Д. М. Фреїк, В. М. Чобанюк, З. Ю. Готра та ін. – <i>Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки</i> / Івано-Франківськ: Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 263 с</p> <p>4) В. О. Москалюк, В.І. Тимофеев, Т.А. Саурова. – <i>Фізика електронних процесів</i> / Київ:КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2020. – с. 324</p> <p>5) John H. Davies. – <i>Physics of Low-Dimensional Semiconductors</i> / Cambridge University Press, 1998.– P. 458.</p> <p>6) Donald A. Neamen. – <i>Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles, fourth edition</i> / New York: University of New Mexico, 2017.– P. 784.</p> <p>7) Donald A. Neamen. – <i>Semiconductor physics and devices: basic principles. 4th ed</i> / McGraw-Hill, 2012. – P.758.</p> <p>8) A. Banerjee. – <i>Semiconductor Devices: Diodes, Transistors, Solar Cells, Charge Coupled Devices and Solid State Lasers</i> / Springer, 2024. – P.299.</p> <p>9) Gerd Czycholl. – <i>Solid State Theory, Volume 2</i> / Springer, 2023. – P. 390.</p> <p>10) Edward Ramsden. – <i>Hall-Effect Sensors. Theory and application. Second Edition</i> / Elsevier, 2006. – P.265.</p> <p align="center">Допоміжна:</p> <p>10) Ch. Kittel. – <i>Introduction to Solid State Physics, eighth edition</i> / University of California, Berkeley, 2005, P. 704.</p> <p>11) Ben G. Streetman, Sanjay Banerjee / <i>Solid state electronic devices. Fifth edition.</i> – Prentice Hall, Inc. Hall Upper Saddle River, New Jersey. – P.562.</p>
<p>Обсяг курсу</p>	<p>Загальний обсяг курсу 180 годин; 96 годин аудиторних занять, з них 48 годин лекцій, 48 годин лабораторних робіт. Самостійної робота– 84 години.</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>Після завершення цього курсу студент буде:</p> <p>Знати:</p> <p>1. Як електрони ведуть себе в різних матеріалах (металах, напівпровідниках, діелектриках) і як це впливає на їхні властивості.</p> <p>2. Про сучасні методи дослідження електронних властивостей матеріалів, такі як спектроскопія, електронна мікроскопія та інші.</p> <p>3. Про електронні переходи, рекомбінацію, дифузію, та інші процеси, що відбуваються в матеріалах.</p> <p>Вміти:</p> <p>1. Проводити експерименти з урахуванням теоретичних аспектів.</p> <p>2. Оцінювати вплив зовнішніх полів (електричного, магнітного) на електронні процеси в матеріалах.</p> <p>3. Використовувати засвоєний матеріал для аналізу, прогнозування та пояснення принципів дії сучасних пристроїв електроніки.</p>
<p>Ключові слова</p>	<p>Рух електрона в кристалі, електромагнітне поле, контактні явища, дрейф носіїв, дифузія носіїв заряду, локалізовані стани електронів, зонна структура матеріалів, термоелектронна емісія.</p>
<p>Формат курсу</p>	<p>Очний</p>
<p></p>	<p>Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння та розкриття тем сучасної електроніки.</p>
<p>Теми</p>	<p>Див. СХЕМА КУРСУ</p>

Підсумковий контроль, форма	Залік	
Пререквізити	Для вивчення дисципліни необхідні знання з дисциплін «Вища математика», «Фізичні основи електроніки», «Основи метрології та стандартизації», «Матеріали та компоненти сучасної електроніки».	
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентації, демонстрації, лекції, лабораторні роботи, обговорення, дискусії, онлайн зустрічі, самостійна робота студентів над напрямками сучасної електроніки.	
Необхідне обладнання	Мультимедіа, платформа MS Teams, термометри опору Pt100 та Pt1000, джерело живлення В-24, мультиметр UT320D, блок живлення MR1502С, аналогові амперметри, п'єзокварцові резонатори, пірометр ВИМП-015М, елемент Пельтьє, установка для вимірювання ефекту Холла, лабораторні установки.	
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням: • лабораторні роботи: 50 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50. • дві контрольні роботи: 50 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50. Загалом упродовж семестру 100 балів. Кожна контрольна робота складається з 5 тестових питань (по 2 бали), 2 теоретичних питань (по 5 бали) та 1 задачі (5 бали). Загалом 25 балів. Контрольні роботи проводяться в письмовій формі.	
	Бали за відповідь на одне теоретичне питання	Критерії оцінювання
	5	Відповіді, в яких навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, які містять аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом.
	3-4	Відповіді, в яких відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни.
	2	Відповіді, в яких основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння.
	1	Відповіді, які засвідчують, що навчальний матеріал не засвоєно Відсутність чіткого і логічного формулювання.
	0	Не виконав.
	Оцінювання лабораторних робіт (10 лабораторних робіт, максимальна кількість балів 50) відбувається шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту звіту. Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням: 0 балів – лабораторна робота не виконана; відсутній звіт, або звіт є,	

	<p>але містить значну кількість помилок та недоліків; завдання роботи не виконані, а знання студента щодо теми лабораторної роботи відсутні.</p> <p>1-2 бали– лабораторна робота частково виконана, але з грубими помилками в обчисленнях, оформленні або аналізі результатів; звіт є, проте містить багато недоліків (неточні формулювання, відсутність пояснень до виконаних дій, недостатній аналіз результатів); відповідь на питання викладача з теми роботи поверхнева або неповна.</p> <p>3-4 балів– лабораторна робота виконана з незначними помилками, які не впливають суттєво на результат; звіт оформлений, але є дрібні недоліки (наприклад, відсутність деяких пояснень або незначна плутанина у викладенні); студент демонструє базові знання теми, може пояснити основні етапи виконання роботи та інтерпретувати отримані результати.</p> <p>5 балів– лабораторна робота виконана повністю, всі завдання виконані правильно; звіт оформлений відповідно до вимог: містить опис методики, результати, розрахунки, висновки; студент впевнено відповідає на запитання, демонструючи глибоке розуміння теми та вміння пояснити методику виконання роботи.</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що лабораторні та контрольні роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. Студенти зобов'язані дотримуватися усіх термінів визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані під час семестру та бали за контрольні роботи. При цьому, обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до контрольних робіт</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зонна структура твердого тіла. 2. Вільні електрони. 3. Ефект Холла. 4. Квантова статистика. 5. Класична теорія електропровідності. 6. Квантова теорія електропровідності. 7. Закон Відемана-Франца. 8. Електропровідність. 9. Діелектрики.

	10. Напівпровідники. 11. Електронна емісія. 12. Фотоефект. 13. Термоелектричні явища: ефект Зеебека, ефект Пельтьє, ефект Томсона. 14. Тунельний ефект. 15. Електрони в магнітному полі. 16. Квантові ефекти. 17. Надпровідність. 18. Електронні взаємодії. 19. Потенціальний бар'єр. 20. Електронно-діркові переходи. 21. Провідність металів. 22. Нелінійні електронні процеси. 23. Енергетичні рівні. 24. Рівень Фермі. 25. Ефективна маса електрона. 26. Електронна хвиля. 27. Квазічастинки. 28. Екситони. 29. Дифузія носіїв заряду. 30. Рекомбінація. 31. Електронний транспорт. 32. Електронні переходи. 33. Вакуумна електроніка. 34. Фонони. 35. Магнітооптичні явища. 36. Поверхневі ефекти. 37. Електронні кореляції. 38. Спін-орбітальна взаємодія. 39. Магнітний момент електрона. 40. Робота виходу. 41. Електронно-оптичні явища. 42. Електронна дисперсія.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

СХЕМА КУРСУ

Тиждень	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання (3-годинні лабораторні заняття)	Термін виконання
1	Вступ. Електронні стани у кристалах. Усуспільнені стани. Утворення енергетичних зон. Загальні властивості хвильової функції у кристалах. Залежність хвильової функції від хвильового вектора. Зони Бріллюена. Ефективна маса електрона.	Лекція	2, 4	Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки.	1-й тиж. семестру
2	Зонна структура матеріалів. Заповнення енергетичних зон електронами. Класифікація кристалів за зонною теорією. Зонна структура металів 1-го та 2-го роду.	Лекція	3, 9	Лабораторна робота №1. Перевірка закону Відемана-Франца.	2-й тиж. семестру

	Зонна структура діелектриків та напівпровідників.				
3	Елементи квантових статистик. Розподіл Фермі-Дірака. Розподіл Бозе — Ейнштейна. Щільність станів. Залежність від температури рухливості електронів і електропровідності металів. Власні напівпровідники. Домішкові напівпровідники.	Лекція	2, 4, 9	Лабораторна робота №2. Градування термометрів опору Pt100, Pt1000.	3-й тиж. семестру
4	Електропровідність твердих тіл. Закон Відемана-Франца. Теорія Друде-Лоренца. Квантова теорія електропровідності металів. Залежність від температури рухливості електронів і електропровідності металів.	Лекція	1, 9	Проміжне звітне заняття.	4-й тиж. семестру
5	Положення рівня Фермі і концентрація носіїв заряду в напівпровідниках. Температурна залежність провідності напівпровідників.	Лекція	5, 6, 7	Лабораторна робота №3. Вивчення роботи п'єзокварцового резонатора.	5-й тиж. семестру
6	Плазма. Електронний транспорт. Параметри плазми. Дрейф носіїв. Одначасткова модель. Колективна модель.	Лекція	1, 4	Лабораторна робота №4. Дослідження магнітних властивостей феритів. Визначення точки Кюрі.	6-й тиж. семестру
7-8	Магнітні властивості твердих тіл. Поняття про магнетики і величини, що їх характеризують. Магнітні моменти атомів. Атом у магнітному полі. Діамагнетики в однорідному магнітному полі. Діамагнетизм. Парамагнетизм. Феромагнетизм. Антиферомагнетизм. Феримагнетизм. Ефект Холла. Магнітоелектричні компоненти: генератор Холла, магніторезистор, магнітодіод, магніотранзистор. Контрольна робота №1	Лекція	1, 9, 10	Проміжне звітне заняття.	7-8-й тиж. семестру
9	Електрон в електричному полі. Рух електрона в однорідному електричному полі. Електрон в гальмуючому електричному полі. Рух електрона в поперечному електричному полі. Електронно-променеві трубки та їх класифікація.	Лекція	1, 2, 3, 4	Лабораторна робота №5. Вивчення параметрів напівпровідників в магнітному полі. Дослідження ефекту Холла.	9-й тиж. семестру
10	Рух зарядів в циліндричному конденсаторі. Рух електронів в магнітному полі. Електронно-променеві трубки з магнітним	Лекція	1, 2, 3, 4	Лабораторна робота №6. Дослідження термоелектронної	10-й тиж. семестру

	керуванням.			емісії металів	
11	Термоемісія. Робота виходу електрона з твердого тіла у вакуум. Основні рівняння термоелектронної емісії. Розподіл емітованих електронів за початковими швидкостями. Термоелектронні катоди.	Лекція	1, 2, 3, 4	Лабораторна робота №7. Вивчення магнітної відхиляючої системи.	11-й тиж. семестру
12	Автоелектронна емісія. Механізми виникнення автоелектронної емісії. Енергетичний розподіл автоелектронів. Автоелектронна емісія з металів і напівпровідників. Автоелектронні катоди. Сканувальний тунельний мікроскоп.	Лекція	1, 2, 3, 4	Проміжне звітне заняття.	12-й тиж. семестру
13	Рекомбінація носіїв заряду. Загальні закономірності рекомбінації. Електронно-діркова рекомбінація у напівпровідниках. Рекомбінація електронів та іонів у газовій плазмі.	Лекція	2, 3, 4, 7, 8	Лабораторна робота №8. Дослідження вторинної емісії металів	13-й тиж. семестру
14	Оптична генерація. Особливості поглинання світла. Властивості фотоефектів. Поведінка збуджених електронів. Інерційність фотоефектів. Лінійність світлової характеристики. Чутливість фотоефектів. Гранична частота фотоефектів. Фотоелементи. Фотоемітери. Фоторезистивні матеріали.	Лекція	2, 3, 4, 7, 8	Лабораторна робота №9. Дослідження електричного розподілу термоелектронів, емітованих оксидним катодом.	14-й тиж. семестру
15	Контактні явища. Ефект поля. Контакт двох металів. Інжекція нерівноважних носіїв. Закони Вольта. Електронно-дірковий перехід. Рівноважний стан переходу. Товщина електронно-діркового переходу. Вольт-амперна характеристика переходу. Ємності електронно-діркового переходу.	Лекція	4, 5, 6, 7, 8	Лабораторна робота №10. Дослідження термоелектричних явищ у напівпровідниках.	15-й тиж. семестру
16	Контакти метал-напівпровідник. p^+n – контакти. Гетеропереходи. Транзисторні структури. Гетеробіполярні структури. Субмікронні польові транзистори з бар'єром Шоттки. Гетероструктурні польові транзистори. Термоелектричні явища. Явище Зеєбека. Явище Пельтьє. Явище Томсона. Контрольна робота №2.	Лекція	4, 5, 6, 7, 8	Заключне звітне заняття.	16-й тиж. семестру