



ФІЗИКА КОНДЕНСОВАНОГО СТАНУ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність	153 Мікро- та наносистемна техніка
Освітня програма	Мікро- та наноелектроніка
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	6 кредитів ЕКТС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен / Модульна контрольна робота, ДКР
Розклад занять	roz.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доцент каф. МЕ, к.ф.-м.н., с.д. Євтушенко Арсеній Іванович, a.ievushenko-me@lil.kpi.ua , м. 38(098) 237 12 78 Практичні. Лабораторні: асистент каф. МЕ, Малюта Сергій Васильович, s.maliuta-me22@lil.kpi.ua , м.38(068) 327 40 48
Розміщення курсу	код класу: yl2uzln https://meet.google.com/yvr-yfjh-khz

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Курс «Фізика конденсованого стану» є фундаментальною основою для вивчення цілого ряду дисциплін професійної та практичної підготовки в напрямку Мікро- та наноелектроніка. В процесі вивчення дисципліни «Фізика конденсованого стану» студенти набудуть ґрунтовне розуміння процесів формування електрофізичних властивостей матеріалів в конденсованому стані. В навчальній дисципліні «Фізика конденсованого стану» вивчаються: атомна структура, електричні, магнітні, теплові, механічні (пружні) властивості твердих тіл та вплив на ці властивості зовнішніх природних або штучно створених силових збуджуючих факторів.

Мета навчальної дисципліни - на основі основних фізичних моделей структури кристалів, зонної теорії, динаміки кристалічної ґратки навчити основам наукового та інженерного підходу до застосування конденсованих матеріалів у сучасних та майбутніх пристроях електроніки, наноелектроніки та у приладобудуванні. Вивчення даної дисципліни забезпечить студентів наступні **компетентності**: будувати теоретичні моделі, що описують електрофізичні властивості сучасних матеріалів електроніки.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

знання: атомної структури та симетрії твердих тіл та можливі дефекти у них; механізмів електричних, теплових і магнітних процесів у твердих тілах, та їх взаємозв'язок із атомною структурою твердих тіл, тощо.

уміння: визначати фізичні причини виникнення тих чи інших електричних, магнітних, теплових ефектів у твердих тілах, що застосовуються у сучасних електронних приладах, уміння коректного вибору конденсованих матеріалів для ефективного їх застосування в мікро- та наноелектроніці.

досвід: практичної реалізації методів дослідження та розрахунків електрофізичних параметрів матеріалів електронної техніки.

Дисципліна формує у здобувачів вищої освіти (згідно освітньо-професійної програми «Мікро- та наноелектроніка»):

1. Загальні компетентності:

ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

2. Фахові компетентності:

ФК 1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.

ФК 3. Здатність використовувати математичні принципи і методи для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.

ФК 5. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей.

ФК 8. Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів мікро- та наносистемної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем.

ФК 12. Здатність використовувати знання про особливості термодинаміки, кінетики хімічних перетворень, структурних аспектах, особливостях синтезу та основних закономірностях створення функціональних неорганічних матеріалів з заданими властивостями.

Програмними результатами навчання є (згідно освітньо-професійної програми «Мікро- та наноелектроніка»):

ПРН3. Застосовувати знання і розуміння фізики, відповідні теорії, моделі та методи для розв'язання практичних задач синтезу пристроїв мікро- та наносистемної техніки.

ПРН6. Застосовувати навички планування та проведення експерименту для перевірки гіпотез та дослідження явищ мікро- та наноелектроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, складати схеми пристроїв, аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.

ПРН16. Застосовувати знання структурних особливостей, природи хімічного зв'язку та електрофізичних властивостей матеріалів електроніки для створення функціональних матеріалів та структур твердотільної, оптичної, мікрохвильової та наноелектроніки.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного вивчення даної дисципліни студенти мають засвоїти наступні дисципліни (**пререквізити дисципліни**):

- бакалаврські курси: ЗО12 «Математичний аналіз», ЗО13 «Фізика», ПО4 «Основи квантової теорії».

Результати навчання даної дисципліни використовуються для вивчення наступних дисциплін (**постреквізити дисципліни**):

- бакалаврські курси: ПО11 «Напівпровідникова електроніка», ПО14 «Нанoeлектроніка».
- ПО19 «Переддипломна практика», ПО20 «Дипломне проектування».

3. Зміст навчальної дисципліни

1. Атомна структура кристалів.
2. Динаміка кристалічної ґратки.
3. Енергетичний спектр електронів у кристалі (зонна теорія).
4. Напівпровідники. Властивості напівпровідників в сильних електричних і магнітних полях.
5. Діелектрики.
6. Електрична поляризація, втрати та електрична міцність кристалів.
7. П'єзо-, Піро-, Сегнетоелектрики.
8. Метали.
9. Магнітні властивості твердих тіл.
10. Оптичні властивості твердих тіл.
11. Практичний досвід дослідження сучасних матеріалів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни:

1. Поплавко, Ю. М. Фізика твердого тіла. Т. 1. Структура, квазічастинки, метали, магнетики [Електронний ресурс] : [в 2 т.] : підручник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка» / Ю. М. Поплавко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : Політехніка, 2017. – 416 с.
2. Поплавко, Ю. М. Фізика твердого тіла. Т. 2. Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи [Електронний ресурс] : [в 2 т.] : підручник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка» / Ю. М. Поплавко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : Політехніка, 2017. – 379 с.
3. Фізичне матеріалознавство: навч. посіб. / Ю.М. Поплавко, Л.П. Переверзева, В.І. Ільченко, О.С. Воронов, Ю.І. Якименко. – К.:НТУУ «КПІ», 2011: Частина 1. Перспективні напрями матеріалознавства – 302 с.; Частина 2. Діелектрики – 392 с.; Частина 3. Провідники і магнетики -372 с.; Частина 4. Напівпровідники – 336 с.
4. Поплавко Ю.М. Структура і симетрія твердих тіл: Навчальний посібник – Київ: Аверс, 2012 – 226с.
5. Поплавко Ю. М. Основи фізики магнітних явищ у кристалах: Навчальний посібник. – Київ: НТУУ «КПІ», 2007. - 216 с.
6. Поплавко Ю. М, Якименко Ю. І. Фізичні механізми п'єзоелектрики. – Київ: Аверс, 1997. – 152 с.
7. Поплавко Ю. М. Фізика діелектриків: підручник – К. : НТУУ «КПІ», 2015. –572 с.
8. Подопрігора Н.В., Садовий М.І., Трифонова О.М. Фізика твердого тіла: навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних університетів. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2013. –413 с.

Допоміжна література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни:

1. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2 т. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – Т. 1. – 338 с.

Зазначену літературу можна знайти в бібліотеці КПІ ім. І.Сікорського, на сайті кафедри мікроелектроніки (<http://me.kpi.ua/index.php?id=61>) або в Інтернеті.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

- 1. Вступ в фізику конденсованого стану.** Класифікація твердих тіл. Типи хімічного зв'язку у кристалах.
- 2. Основи симетрії кристалів.** Гратки Браве, індекси Міллера, пряма й зворотна гратка. Дефекти кристалічної структури.
- 3. Динаміка кристалічної гратки.** Моделі ізольованого атому та пружного континууму. Закон Гука. Температура Дебая.
- 4. Хвилі в одномірному ланцюжку та трьохвимірній гратці.** Закони дисперсії акустичних й оптичних коливань.
- 5. Теплоємність, теплопровідність та термічне розширення твердих тіл.**
- 6. Зонна теорія твердого тіла.** Рівняння Шредінгера, адиабатичне наближення, самоузгоджений потенціал.
- 7. Спектр електронів у діелектриках, напівпровідниках та металах.**
- 8. Напівпровідники.** Електрони та дірки, ефективна маса. Енергетичний спектр електронів в основних напівпровідниках. Власні та домішкові напівпровідники (донори, акцептори, глибокі центри), особливості поверхневих станів. Напівпровідники в сильних електричних полях.
- 9. Рівноважні носії заряду, функції розподілу.** Рівень Фермі.
- 10. Кінетичне рівняння Больцмана.** Час релаксації, Механізми розсіювання. Рухливість носіїв заряду.
- 11. Нерівноважні носії заряду (розподіл по енергії, генерація та рекомбінація, час життя, дифузія та дрейф).** Рівняння неперервності, співвідношення Ейнштейна.
- 12. Діелектрики.** Природа носіїв заряду (іони та полярони). Суперіонна провідність. Фазове перетворення діелектрик - метал. Позисторна провідність.
- 13. Поляризація діелектриків та розрахунок діелектричної проникності.** Механізми діелектричних втрат та їхня частотна залежність. Електропровідність і пробій діелектриків.
- 14. Властивості діелектриків в сильних полях: нелінійність поляризації та провідності, електронний та тепловий пробій.** Електричне старіння.
- 15. Активні діелектрики.** Фізика п'єзо - та піроелектру. Сегнетоелектрики (фероелектрики). Електрети.
- 16. Метали.** Характерні властивості металів. Електропровідність металів. Теплові властивості металів. Електронна теорія металів, поверхня Фермі. Надпровідність металів і сплавів.
- 17. Магнітні властивості твердих тіл. Магнетики.** Природа діа-, пара-, феро- та антиферомагнетизму. Магнітні домени (анізотропія, динаміка, гістерезис). Феримагнетизм та роль феритів в електроніці. Магніторезонансні явища.
- 18. Оптичні властивості твердих тіл.** Відбиття, пропускання та поглинання світла металами, діелектриками та напівпровідниками (роль вільних носіїв заряду, край оптичного поглинання).
- 19. Взаємодія електромагнітного випромінювання з твердим тілом.** Генерація та рекомбінація зарядів нетеплового походження. Фотопровідність.
- 20. Фазові переходи.** Правило фаз Гіббса для рівноваги. Фазові переходи першого і другого роду.
- 21. Рідинні кристали.**
- 22. Перспективні матеріали для електроніки.**

Тематика практичних занять

1. Основи симетрії кристалів. Центр та осі симетрії, площини симетрії. Операції симетрії.
2. Механічні (пружні) властивості кристалів. П'єзо- й піроелектричні класи кристалів.

3. Вектори поля, індукції та поляризованості й співвідношення між ними. Вибір граничних умов при визначенні матеріальних констант кристалів.
4. Основні механізми магнетизму. Особливості діа-, пара- та феромагнетизму. Ферити.
5. Зонна теорія. Спектр електронів у діелектриках, напівпровідниках та металах.
6. Зони Бріллюена. Електрони та дірки, ефективна маса. Енергетичний спектр електронів в основних напівпровідниках.
7. Основні ефекти в напівпровідниках і металах. Оптичні властивості кристалів.
8. Границі застосування зонної теорії. Фазові переходи із стрибком провідності. Надпровідники. Сегнетоелектрики.

Тематика лабораторних робіт

1. Оптичні властивості твердих тіл.
2. Визначення дифузійної довжини компенсаційним методом.
3. Гальваномагнітні ефекти Холла і Гауса.
4. Тензорезистивний ефект.
5. Вивчення властивостей нелінійних діелектриків.
6. Визначення концентрації і мобільності носіїв заряду методом геліконового резонансу.
7. Визначення часу життя фотоінжекційним методом.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

1. Класи симетрії кристалічних структур, методи дослідження структур кристалів - 10 годин.
2. Теорія надпровідності Бардіна — Купера — Шріффера, Ефект Мейснера - 4 години.
3. Вивчення явища гістерезису феромагнетиків – 4 години.
4. Ефекти Дембера та фотомагнітний. Фізичні моделі ефектів – 4 години
5. Спонтанна поляризація. Температура Кюрі, закон Кюрі – Вейса – 4 години.
6. Електропровідність чистих металів та неупорядкованих сплавів – 4 години.
7. Підготовка індивідуального завдання (ДКР) - 20 годин.
8. Підготовка до контрольної роботи – 20 годин.
9. Підготовка до іспиту – 30 годин.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні, лабораторні та практичні заняття проводяться в системі Google Classroom або очно (відповідно до положення КПІ ім. Ігоря Сікорського). Відвідування лекційних занять не є обов'язковим, однак для одержання іспиту “автоматом” потрібно набрати більше 60 балів, які можна одержати за виконання обов'язкових завдань (виконання ДКР, написання модульних контрольних робіт, захист лабораторних робіт, активна робота на практичних заняттях) та відвідавши лекційні заняття (пройшовши експрес-тести по матеріалам лекцій).

Під час всіх видів занять студенти зобов'язані відімкнути звук та відео, окрім доповідача.

Бали за **роботу під час лекції** нараховуються на основі експрес-опитування у вигляді тесту в системі Google Classroom. Тести містять запитання до матеріалу лекційного заняття, правильна відповідь на які дасть змогу отримати бали.

Модульні контрольні роботи проводяться на лекційному (практичному) занятті письмово (від руки). В умовах проведення практичних занять, робиться скан (або фото) роботи і надсилається в систему Google Classroom.

Лабораторні роботи (ЛР) Виконання лабораторної роботи полягає у тому, що студент практично виконав технічне завдання, зробив необхідні розрахунки і побудував графічні залежності (якщо вони передбачені), оформив протокол (висновки по роботі обов'язкові). Максимальний бал отримує той, хто подав вірні результати з першого пред'явлення протоколу лабораторної роботи. **Виконання усіх передбачених лабораторних робіт на поточний навчальний рік обов'язкове.** Захист ЛР: письмова відповідь на 5 контрольних питань.

В умовах онлайн-навчання виконання лабораторних робіт зводиться до розрахунків величин на основі даних отриманих від викладача (в електронному або відео-форматі), оформлення протоколу, написання висновків. Захист: відповідь на 4 контрольних питань в Google формі.

Звіти з лабораторних та практичних робіт та РР оформлюються відповідно до вимог ДСТУ-3008 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення», як від руки так і на комп'ютері та друкуються (пишуться) на одному боці аркуша А4 білого кольору. У разі оформлення звіту від руки – графіки мають бути наведені на міліметрівці.

Домашня контрольна робота (ДКР) – виконується під час самостійної роботи. Тематика завдань відповідає змістовним модулям. Звіт про виконання роботи подається у письмовому (або в електронному) у вигляді (скан/фото або файл) і надсилається в систему Google Classroom у визначений термін.

Для допуску до **екзамену та перескладань** необхідно здати всі лабораторні роботи, одночасно отримавши не нижче 40% семестрового рейтингу.

Підсумкова оцінка визначається згідно з табл.2, де підсумкова кількість балів за семестр R формується на підставі балів отриманих впродовж семестру R_I (50%) та балів отриманих на іспиті R_E (50%), тобто:

$$R = R_I \cdot 0,5 + R_E,$$

де R_I визначається згідно з РСО (табл. 1) і максимум складає 100 балів, а R_E – визначається за результатами екзамену і максимум складає 50 балів.

Іспит є письмовим. Білет на іспиті складається з 3-х завдань (теоретичні питання) по тематиці змістовних модулів, що виносяться на аудиторні заняття, та окремих питань, які виносяться на самостійне опрацювання.

Політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), не пройшов експрес опитування, то його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання МКР здійснюється за узгодженням з викладачем. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.

Академічна доброчесність. Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки. Норми етичної поведінки студентів і співробітників визначені розділом 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль: експрес-опитування (тест) наприкінці лекції, виконання практичних та захист лабораторних робіт.

Календарний контроль: проводиться два рази на семестр, як правило на 7-8 та 14-15 тижнях, як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу (бали нараховуються за експрес-опитування, МКР, ДКР, ЛР та роботу на практичних заняттях). Для отримання позитивного результату семестрового контролю необхідно на час проведення календарного контролю мати не менше 50% можливого на цей час рейтингу (близько 15-20 балів для I КК, та 35-40 балів для II КК).

Семестровий контроль: екзамен.

За відсутності дистанційного режиму навчання екзамен відбувається в призначених аудиторіях чи на платформі **meet.google**. При цьому:
- студентам видаються білети.

- протягом однієї години студенти письмово надають відповіді на поставлені питання і по закінченню відведеного на підготовку часу студенти здають свої роботи.
- кожен студент пояснює викладені ним відповіді для з'ясування розуміння предмету.
- при виникненні недостатнього розуміння або при бажанні студента підняти бал оцінки студенту задаються додаткові питання, які фіксуються на письмовій відповіді.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання всіх лабораторних робіт та отримання не нижче **40%** семестрового рейтингу.

1. Система рейтингової оцінки по видам занять:

№ п/п	Заняття, що підлягають рейтинговій оцінці	Загальна кількість завдань	Максимальний бал за 1 завдання	Кількість балів на "відмінно"
1.	Лекції: експрес-опитування	6	4	24
2.	Модульна контрольна робота (МКР)	2	10+11	21
3.	Домашня контрольна робота (ДКР)	1	20	20
4.	Лабораторні роботи - виконання (протокол) - захист	7	1 4	35
Семестрові бали				100

Заохочувальні бали можуть бути призначені за роботу на практичних заняттях – за вирішення задач, підготовки рефератів, доповіді, тощо. **Сумарна кількість заохочувальних балів може складати до 10 балів.**

2. Таблиця відповідності підсумкових рейтингових балів R оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів R	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

3. Якщо з об'єктивних обставин кількість завдань змінюється, семестрові бали, наведені у п. 1, відповідним чином корегуються.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

У випадку дистанційної форми навчання за рішенням кафедри екзаменаційна оцінка може бути виставлена «автоматом» за формулою шляхом перерахунку стартових балів за 100-бальною шкалою:

$$R = 60 + \frac{40(R_I - R_D)}{R_C - R_D},$$

де R_I – сума балів набрана студентом протягом семестру, $R_D = 40$ – бал необхідний для отримання допуску до семестрового контролю, $R_C = 100$ максимальна сума балів, передбачених РСО. Яка переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з табл. 2.

В дистанційному режимі екзамен проходить на платформі **meet.google**:

- викладач виставляє по черзі презентацію довільно названих студентами білетів, з яких вони роблять скріншоти і готують відповіді.
- після закінчення відведеного на підготовку студентам часу, вони висилають файли фотокопій своїх відповідей на електронну пошту викладача.
- в режимі онлайн спілкування студенти дають пояснення своїх відповідей аналогічно як в аудиторному режимі.

Перелік додаткових теоретичних питань для модульної контрольної роботи та іспиту, на основі яких формуються білети:

1. Енергія електрона у зонному спектрі напівпровідників. Екстремальні точки. Наближення ефективної маси. Фізичні та геометричні властивості ефективної маси.
2. Динамічні властивості носіїв заряду. Рівняння дрейфового руху, дрейфова швидкість та мобільність (рухливість) у електричному полі.
3. Дифузійний механізм електропереносу. Дифузія і дрейф. Співвідношення Ейнштейна.
4. Власний напівпровідник. Залежність концентрації носіїв заряду та рівня Фермі від температури.
5. Домішкові напівпровідники. Залежність концентрації носіїв заряду та рівня Фермі від температури. Критичні температури. Глибокі домішки.
6. Компенсовані напівпровідники. Ефективна концентрація домішок. Порівняння з власними напівпровідниками.
7. Електрон – фононна взаємодія. Час фононної релаксації.
8. Іонне розсіювання. Час іонної релаксації.
9. Термоелектричний ефект Зеєбека. Фізична модель. Умова стаціонарної рівноваги процесів. Коефіцієнт термоерс, його залежність від рівня легування та типу домішок. Порівняння термоерс напівпровідників і металів.
10. Термоелектричний ефект Пельтьє. Фізична модель процесів. Термоелектричне охолодження. Термоелектрична якість матеріалів.
11. Рекомбінація. Кількісні характеристики та механізми рекомбінації.
12. Дифузія, дрейф, генерація, рекомбінація. Дифузійна довжина та час життя.
13. Електричноактивне поглинання світла. Квантовий вихід внутрішнього фотоефекту. Стаціонарна та релаксаційна фотопровідність. Спектральна характеристика.
14. Умови порушення нейтральності освітленого напівпровідника. Ефекти Дембера та фотоманітний. Фізичні моделі ефектів.
15. Поглинання світла у напівпровідниках з градієнтом концентрації домішок. Максимальне та граничне значення фотоерс для напівпровідникового матеріалу.
16. Теплові коливання атомів. Фононні спектри. Особливості оптичних коливань іонних твердих тіл.
17. Діелектрична поляризація твердих тіл. Кількісні характеристики. Класифікація механізмів поляризації.
18. Пружні механізми поляризації. Частотна дисперсія діелектричної проникності для пружних механізмів поляризації.
19. Теплова (релаксаційна) поляризація. Частотна дисперсія діелектричної проникності для теплових (релаксаційних) механізмів поляризації.
20. Параелектрики. Спонтанна поляризація. Сегнетоелектрики, піроелектрики, електрети. Фазові переходи. Температура Кюрі, закон Кюрі - Вейса.
21. Фононний спектр металів. Теплоємність та теплопровідність металів. Закон Відемана-Франца-Лоренца.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доц. кафедри мікроелектроніки, к.ф.-м.н., с.д. Євтушенко А.І.
доц. кафедри мікроелектроніки, к.т.н., доц. Обухова Т.Ю.

Ухвалено кафедрою мікроелектроніки ФЕЛ (протокол №22 від 23.06.2023 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету електроніки¹ (протокол № 06/23 від 29.06.2023 р.)

¹ Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.