

[RE-288] НАНО- ТА МІКРОЕЛЕКТРОНІКА



Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітня програма	172Мн ІТР - Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 49263)172Мп ІТМР - Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 4852)172Мн РЕІ - Радіоелектронна інженерія (ЄДЕБО id: 53272)172Мн РЕІ+ - Радіоелектронна інженерія (ЄДЕБО id: 57919)
Статус дисципліни	Нормативна
Форма здобуття вищої освіти	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	5 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кред. (Лекц. 36 год, Практ. год, Лаб. 36 год, СРС. 48 год)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Залік
Розклад занять	https://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська / Англійська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: Нелін Є. А. (ye.nelin@gmail.com) Лаб.: Нелін Є. А. , СРС.: Нелін Є. А.
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/NjQ5OTk4NDczMTc0?cjc=r7radpa

Програма навчальної дисципліни

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

Мета навчальної дисципліни — формування у студентів компетенцій в області сучасних тенденцій розвитку мікро- та наноелектроніки, фізико-математичних основ типових мікро- та наноелектронних структур та пристроїв оброблення сигналів на їхній основі.

Предмет навчальної дисципліни — фізичні та математичні основи мікро- та

наноелектроніки, основи моделювання та проектування мікро- та наноелектронних структур та пристроїв оброблення сигналів.

Програмні компетентності

(ЗК 11) здатність критичної оцінки своїх занять;

(ФК 6) здатність демонструвати і використовувати фундаментальні знання принципів побудови сучасних телекомунікаційних та радіотехнічних систем, систем контролю та керування, перспективні напрямки розвитку їх елементної бази;

(ФК 11) здатність використовувати типові та розробляти власні програмні продукти, орієнтовані на розв'язок задач проектування та розрахунку складових частин телекомунікаційних та радіотехнічних систем для оптимізації структури та конструкції досліджуваних об'єктів, підготовки необхідної технологічної документації;

(ФК 16) здатність обирати оптимальні методи досліджень і оптимізації, модифікувати та адаптувати існуючі, розробляти нові методи досліджень і оптимізації відповідно до існуючих технічних засобів та формувати методiku обробки результатів досліджень;

(ФК 17) здатність демонструвати і використовувати знання сучасних комп'ютерних та інформаційних технологій та інструментів інженерних і наукових досліджень, розрахунків, обробки та аналізу даних, моделювання та оптимізації.

Програмні результати навчання:

(ПРН 1) впорядковувати набуті знання для постановки і вирішення інженерних та наукових завдань, вибору і використання відповідних аналітичних методів розрахунку;

(ПРН 11) узагальнювати сучасні наукові знання та застосовувати їх для розв'язання науково-технічних завдань, оцінки можливості доведення отриманих рішень до рівня конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах;

(ПРН 18) Вміти моделювати, досліджувати та проектувати мікро- та наноелектронні структури пристроїв оброблення сигналів

За результатами засвоєння дисципліни студенти отримають теоретичні знання в області мікро- та наноелектроніки, практичні знання моделювання та проектування мікро- та наноелектронних структур; набудуть уміння застосовувати здобуті знання при розробці нових мікро- та наноелектронних пристроїв оброблення сигналів.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент має володіти знаннями з дисциплін «Фізика», «Вища математика», «Основи теорії кіл», "Інформатика. Частина 1, Основи програмування та алгоритми", «Основи теорії кіл», «Пристрої НВЧ».

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розділено на 6 розділів:

Розділ 1 Вступ. Мікро- та наноелектроніка

Розділ 2 Радіотехнічні моделі мікро- і наноструктур

Розділ 3 Поодинокі наноструктури

Розділ 4 Кристалоподібні структури

Розділ 5 Нанооптика

Розділ 6 Частотно-вибіркові пристрої на основі

шлейфних мікроструктур

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література:

1. Поплавко Ю. М., Борисов О. В., Якименко Ю. І. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка. – К: НТУУ «КПІ», 2012. – 299 с.

2. Knoch J. Nanoelectronics: Device Physics, Fabrication, Simulation. – Berlin/Boston: De Gruyter, 2021. – 390 p.

3. Markos P., Soukoulis C. M. Wave Propagation: From Electrons to Photonic Crystals and Left-Handed Materials. – Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2008. – 352 p.

Допоміжні джерела:

1. Joines W. T., Palmer W. D., Bernhard G. T. Microwave Transmission Line Circuits. – Norwood, MA.: Artech House, 2013. – 320 p.

.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття. Перелік основних питань

Розділ 1 Вступ. Мікро- та наноелектроніка

1.1 Тенденції розвитку. Напрями

1.2 Частотні фільтри на основі акустичних хвиль в мобільних телефонах

1.3 Частотні фільтри на основі електромагнітних хвиль

Розділ 2 Радіотехнічні моделі мікро- і наноструктур

2.1 Фізико-технічні основи мікро- і наноструктур

2.2 Особливості моделювання мікро- і наноструктур

2.3 Імпедансна модель мікро- і наноструктур

2.4 Відрізок лінії передачі

Розділ 3 Поодинокі наноструктури

- 3.1 Потенціальний бар'єр
- 3.2 Тунелювання хвиль
- 3.3 Надбар'єрне проходження електронів
- 3.4 Потенціальна яма
- 3.5 Двобар'єрна структура
- 3.6 Резонансне тунелювання електронів. Типова характеристика двобар'єрної структури
- 3.7 Резонансний тунельний діод
- 3.8 Залежності власних рівнів енергії двобар'єрної структури
- 3.9 Амплітудні і фазові умови резонансного тунелювання хвиль
- 3.10 Власні рівні енергії і ширина рівня двобар'єрної структури
- 3.11 Імпедансні умови резонансного проходження і резонансної локалізації хвиль
- 3.12 Однобар'єрні структури з резонансним тунелюванням
- 3.13 Двоямна структура
- 3.14 Квантова інформатика (quantum information science)

Розділ 4 Кристалоподібні структури

- 4.1 Напівпровідникова надґратка
- 4.2 Модель кристалічної ґратки
- 4.3 Зонні характеристики кристалоподібних структур
- 4.4 Вхідний імпеданс кристалоподібної структури
- 4.5 Імпедансні умови для заборонених та дозволених зон
- 4.6 Дозволені зони — зони власних значень кристалоподібної структури
- 4.7 Характеристики напівпровідникової надґратки
- 4.8 Характеристики фотонних і фононних кристалів
- 4.9 Аналогія кристалоподібних структур і періодичних електромагнітних структур
- 4.10 Узагальнена періодична структура на основі реактивних елементів
- 4.11 Типи кристалоподібних структур. Фононні кристали

Розділ 5 Нанооптика

- 5.1 Принципи нанооптики
- 5.2 Резонатор Фабрі-Перо
- 5.3 Характеристики резонатора Фабрі-Перо
- 5.4 Фотонні кристали

- 5.5 Імпедансна модель фотонного кристала
- 5.6 Локалізація фотонів і електронів
- 5.7 Неоднорідності фотонного кристала
- 5.8 Резонаторні порожнини та хвилеводи на основі фотонного кристала
- 5.9 Елементи інтегрально-оптичних пристроїв на основі фотонних кристалів
- 5.10 Світловоди
- 5.11 Фотонно-кристалічні світловоди
- 5.12 Особливості лазера як джерела світла
- 5.13 Волоконні лазери
- 5.14 Фотонно-кристалічні лазери
- 5.15 Квантово-каскадні лазери
- 5.16 Метаматеріали з від'ємним показником заломлення

Розділ 6 Частотно-вибіркові пристрої на основі

шлейфних мікроструктур

- 6.1 Шлейфи лінії передачі
- 6.2 Резонатор на основі двох розімкнутих шлейфів
- 6.3 Розрахунок резонатора та його амплітудно-частотної характеристики
- 6.4 Резонатор на основі двох розімкнутих шлейфів
з відрізками основної лінії
- 6.5 Резонатор на основі розімкнутого та короткозамкнутого шлейфів
- 6.6 Резонатор на основі розімкнутого та короткозамкнутого шлейфів
з відрізками основної лінії
- 6.7 Резонатор на основі розімкнутого шлейфа та відрізка
- 6.8 Мікросмужкова лінія
- 6.9 Одновимірна модель секції мікросмужкової лінії. Двовимірні квазісосереджені реактивні елементи
- 6.10 Тривимірні квазісосереджені ємності
- 6.11 Тривимірна квазісосереджена індуктивність
- 6.12 Порівняння характеристик дво- та тривимірних квазісосереджених елементів
- 6.13 Фільтри нижніх частот на основі дво- та тривимірних квазісосереджених елементів
- 6.14 Фільтри нижніх частот на основі дво- та тривимірних шлейфів

6.15 Смугові фільтри на основі ортогональних резонаторів

Тематика лабораторних робіт (комп'ютерний практикум). Лабораторні роботи виконуються комп'ютерним моделюванням в комп'ютерному класі за допомогою програмного пакета Mathcad (навчальна версія). Кількість робіт - 5. Теми лабораторних робіт 1-5 відповідають темам розділів 2-6 лекцій.

- 1 Моделювання та дослідження характеристик відрізка лінії передачі
- 2 Квантово-механічні потенціальні бар'єр та яма
- 3 Двобар'єрна квантово-механічна структура
- 4 Фотонний кристал
- 5 Двошлейфний резонатор

6. Самостійна робота студента

Домашня контрольна робота. Домашня контрольна робота включає 5 індивідуальних завдань, кожне по темі розділів 2-6 лекцій. Завдання виконуються комп'ютерним моделюванням за допомогою програмного пакета Mathcad (навчальна версія) самостійно кожним студентом з консультацією викладача.

Модульна контрольна робота. Модульна контрольна робота включає 10 питань по тематиці 1-3 розділів дисципліни.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Вимоги, які ставляться перед студентом:

відвідування лекційних та практичних занять є обов'язковою складовою вивчення матеріалу;

- на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує програму Zoom для викладання матеріалу поточної лекції, додаткової інформації, завдань лабораторних робіт, модульної контрольної роботи та інше;
- для інформаційної підтримки вивчення дисципліни використовується група дисципліни в Telegram, у яку включено всіх студентів;
- питання на лекції дозволено задавати впродовж лекції;
- для зарахування виконання лабораторної роботи необхідно виконати передбачені в ній завдання, зробити аналітичні висновки та захистити отримані результати;
- для зарахування кожного з індивідуальних завдань модульної контрольної роботи необхідно виконати завдання, зробити аналітичні висновки та захистити отримані результати;
- заохочувальні бали виставляються за активну роботу на лекції та під час лабораторної роботи, а також за дострокове виконання завдань модульної контрольної роботи.

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

Рейтинг студента складається з балів за такі складові.

1. Робота на лекціях та лабораторних роботах.
2. Виконання лабораторних робіт.

3. Виконання домашньої контрольної роботи (ДКР).
4. Виконання модульної контрольної роботи (МКР).
5. Заохочувальні бали.
6. Відповіді на заліку.

Сумарна максимальна кількість балів за виконання лабораторних робіт № 1 – 5, ДКР та МКР протягом семестру складає 100 балів при таких критеріях оцінювання.

Лабораторні роботи

Для кожної з п'яти робіт:

- 8 балів — задовільне виконання;
- 10 балів — добре виконання;
- 13 балів — відмінне виконання.

Домашня контрольна робота

Для кожного з п'яти завдань:

- 3 бали — задовільне виконання;
- 4 бали — добре виконання;
- 5 балів — відмінне виконання.

Модульна контрольна робота

- 5 балів — задовільне виконання;
- 8 балів — добре виконання;
- 10 балів — відмінне виконання.

Мінімальна кількість балів за виконання лабораторних робіт, ДКР та МКР: $5 \cdot 8 + 5 \cdot 3 + 5 = 60$.

Максимальна кількість балів за виконання лабораторних робіт та модульної контрольної роботи: $5 \cdot 13 + 5 \cdot 5 + 10 = 100$.

Заохочувальні бали:

за активну роботу на лекції та практичному занятті (зокрема, 1..2 бали за вирішення задачі, за складну задачу — 3 бали);

за дострокове виконання кожного завдання модульної контрольної роботи (за 1 і більше днів до встановленої дати) — 2 бали.

Рейтингова шкала дорівнює 100 балів. Рейтинг студента RD формується з сумарних балів за роботу в семестрі RC та залікової складової $RЗ$:

$$RD = RC + RЗ$$

Згідно з викладеним раніше

$$RC = R_{лр} + R_{ДКР} + R_{МКР} + R_{з,}$$

де $R_{лр}$ — бали за виконання лабораторних робіт; $R_{дкр}$ — бали за виконання ДКР; $R_{мкр}$ — бали за виконання МКР; R_3 — заохочувальні бали.

Мінімальне значення $RC = 60$.

Залікова складова становить 40% рейтингової шкали і дорівнює 40 балів. Система оцінювання знань на заліку:

- ☐ відповіді на всі завдання білета відсутні або містять грубі помилки й не задовольняють мінімальному необхідному рівню засвоєння матеріалу — 0 – 7 балів;
- ☐ загалом правильні відповіді не менше, ніж на 25% завдань білета — 8 – 10 балів;
- ☐ загалом правильні відповіді не менше, ніж на 50% завдань білета — 15 – 20 балів;
- ☐ правильні відповіді не менше, ніж на 75% завдань білета — 21 – 29 балів;
- ☐ вичерпні аргументовані відповіді на всі завдання білета — 30 – 40 балів.

Умови допуску до заліку: студент допускається до заліку, якщо ☐☐ має стартовий рейтинг 60 балів і більше, виконані лабораторні роботи, ДКР та МКР.

Сума набраних балів RD переводиться в оцінку згідно з таблицею:

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

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

...

Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни

Практичні роботи виконуються індивідуально кожним студентом в комп'ютерному класі з застосуванням спеціального програмного забезпечення для виконання моделювання, дослідження та аналізу характеристик типових мікро- та наноструктур і пристроїв оброблення сигналів на їхній основі.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено [Нелін Є. А.](#);

Ухвалено кафедрою ПРЕ (протокол № 6/2023 від 22.06.2023)

Погоджено методично комісією радіотехнічного факультету (протокол №06-2023 від 29.06.2023)
методичною комісією факультету електроніки (протокол № 06\23 від 29.06.2023 р.)