



МОДЕЛЮВАННЯ МІКРО- І НАНОЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ТА СИСТЕМ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (освітньо-професійний) - магістр</i>
Галузь знань	<i>17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації</i>
Спеціальність	<i>176 «Мікро- та наносистемна техніка»</i>
Освітня програма	<i>Мікро- та наносистемна техніка</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів, лекції 36 год., практичні заняття 18 год., (лабораторний практикум 18 год, самостійна робота 78 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: зав. каф. Електронної інженерії, д.т.н., проф. Тимофеев Володимир Іванович v.timofeyev@kpi.ua timof-ee@kpi.ua Практичні і лабораторні заняття: зав. каф. Електронної інженерії, д.т.н., проф. Тимофеев Володимир Іванович v.timofeyev@kpi.ua timof-ee@kpi.ua
Розміщення курсу	Google classroom -

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна займає належне місце у структурно-логічній схемі програми підготовки фахівця, та забезпечує підготовку студентів до застосування мікро- і наносистем та підходів щодо їх дослідження.

Міждисциплінарні зв'язки:

Програму навчальної дисципліни «Моделювання мікро- і наноелектронних компонентів та систем» складено відповідно до стандарту вищої освіти підготовки магістрів з галузі знань 17 – «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 176 «Мікро- та наносистемна техніка».

Навчальна дисципліна «Моделювання мікро- і наноелектронних компонентів та систем» належить до циклу професійної та практичної підготовки магістрів за вибором студентів.

Предметом навчальної дисципліни є компоненти мікро- та наноелектронної техніки та методи їх моделювання. Передумовою його вивчення є освоєння дисциплін циклу підготовки бакалаврів за спеціальністю 176 «Мікро- та наносистемна техніка». Даною навчальною дисципліною

забезпечуються наступні курси магістерської підготовки: навчальна дисципліна з мікро- та наносистем та навчальна дисципліна з засобів та систем телекомунікацій.

Мета та завдання навчальної дисципліни

Основна мета дисципліни «Моделювання мікро- і наноелектронних компонентів та систем» – дати поглиблені знання в галузі активних електронних компонентів з орієнтацією на сучасні тенденції розвитку електронної техніки і мікро- та наноелектроніки. Сюди входить, по-перше, розгляд динаміки фізичних процесів, які мають місце в різноманітних електронних приладах, з акцентом на швидкодії процесів, а також аналіз напівпровідникових матеріалів з точки зору їх динамічних властивостей. По-друге, розгляд нових фізичних ефектів, які виявляються з розвитком нанотехнологій, для створення надшвидкодійних приладів, а також фізики наносистем, включаючи квантово-розмірні системи (квантові точки, нанотрубки, нанонитки, тривимірні наносистеми тощо), методів їх моделювання.

Метою навчальної дисципліни є забезпечення таких **програмних результатів навчання**

ПРН1	Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнеспроектах.
ПРН11	Досліджувати процеси у мікро- та наноелектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів.
ПРН17	Досліджувати та проектувати прилади мікро- та наноелектроніки з використанням сучасних інформаційних технологій і програмних засобів.
ПРН18	Моделювати процеси в мікроелектронних приладах та системах, аналізувати отримані дані та на їх основі прогнозувати параметри новітніх приладів та систем мікро- та наносистемної техніки, електронних біомедичних систем.

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

Для засвоєння дисципліни щодо математичних моделей і методів моделювання фізичних процесів і властивостей, параметрів і характеристик приладів мікро- і наноелектроніки необхідними є здатності застосування знань і практичних навичок з новітніх наноматеріалів і методів їх дослідження; фізичних процесів, будови і технологій виготовлення мікро- та нанокomпонентів і систем.

3. Зміст навчальної дисципліни

Методи моделювання динамічних електронних процесів: кінетичне рівняння, релаксаційні рівняння балансу частинок, імпульсу, енергії, особливості багатодолинних напівпровідників, метод Монте-Карло, рівняння неперервності, самоузгоджене моделювання. Квантово-механічні методи моделювання електронного транспорту.

Субмікронні напівпровідникові структури та прилади. Польовий транзистор з бар'єром Шоттки. Специфічні прояви електронного транспорту за субмікронних розмірів затвору ("сплеск" дрейфової швидкості, вплив підкладки, механізми управління струмом) та їх вплив на параметри транзистора. Гетероструктурні польові транзистори з високою рухливістю електронів, характерні параметри, методи зниження шуму та підвищення потужності. Гетеробіполярні транзистори, особливості використання. Транзистори на гарячих електронах.

Фізика наносистем. Квантово-розмірні системи. Одно-, дво- і тривимірні квантові системи. Фізико-хімічні особливості наноструктурних матеріалів. Види наноматеріалів, їх властивості і

застосування. Моделювання і фізичні властивості систем квантових точок. Нанокластери і нанокластерні системи. Молекулярні структури. Фізичні особливості молекулярних наноструктур. Рух носіїв заряду у молекулярних системах. Екситони.

Нанобіосистеми. Нанобіосенсори. Біонаноструктури. Характеристики біонаночастинок. Методи дослідження біонаноелектронних систем.

Нанометрові напівпровідникові прилади на основі низькорозмірних систем. Діодні структури, резонансно-тунельні діоди, надграткові структури. Транзисторні структури, транзистори на квантових точках та квантових нитках. Транзистори на вуглецевих трубках та графені. Спінтронні транзистори. Молекулярні транзисторні структури.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Москалюк В.О., Тимофеев В.І., Федяй А.В. «Надшвидкодіючі прилади електроніки», навч. пос. з грифом МОНУ, вид. «Політехніка», Київ, 2014, С.528.
2. Фізика електронних процесів,: [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» / В. О. Москалюк, В.І.Тимофеев, Т.А.Саурова; Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 5 від 30.06.2020 р.).– Електронні текстові дані (1 файл: 7,21 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.–324 с.
3. «Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки»: [Електронний ресурс]: навчальний посібник для аспірантів спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», та освітньо-наукової програми «Мікро- та наносистемна техніка» / В.О. Москалюк, В.І.Тимофеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 22,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. –164 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №3 від 05.11.2020 р.) за поданням Вченої ради факультету електроніки (протокол №10/2020 від 19.10.2020 р.)
4. Заячук Д.М. Основи наноелектроніки: У 2 кн., Кн.1. Квантово-механічні засади, структури, фізичні властивості: Підручник / Заячук Д.М., Якименко Ю.І., Орлова А.Т., Співак В.М., Богдан О.В. – К.: КПІ, 2014. – 470 с.

Допоміжна література

1. Погосов В.В., Корніч Г.В., Васютін Є.В., Пугіна К.В., Кіпріч В.І Основи нанофізики і нанотехнологій. Електронний посібник. Запоріжжя, 2008. – 630 с.
2. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. –580 с.
3. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки : підручник для студ. вищих закладів освіти / М. Г. Находкін, Д. І. Шека ; Київський нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. Київ : ВПЦ "Київський університет", 2005. 431 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Тема МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРОЦЕСІВ 1. Метод кінетичного рівняння: кінетичне рівняння, його структура 2. Інтеграл зіткнень, принцип детальної рівноваги, наближення часу релаксації.

	3. Метод Монте-Карло: одно- та багаточастинкова реалізації Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Завдання на СРС: основні методи чисельного розв'язання диференціальних рівнянь
2	Тема ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРОЦЕСІВ 4. Релаксаційні рівняння для концентрації, імпульсу, енергії 5. Квантові моделі переносу заряду, метод хвильових функцій Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Завдання на СРС: аналіз фізико-хімічних особливостей напівпровідникових матеріалів $A^{III}B^V$.
3	Тема СУБМІКРОННІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ СТРУКТУРИ ТА ПРИЛАДИ 9. Загальні властивості субмікронних ПТШ, особливості ВАХ. Квазідвовимірні модель ПТШ. Схемні моделі ПТШ: малосигнальна, шумова 10. Моделі ПТШ для режиму великого сигналу. Моделювання ефектів третього виміру 11. Загальні властивості гетероструктурних польових транзисторів (ГСПТ), утворення провідного каналу. Кінетичне моделювання ГСПТ. Двовимірне моделювання. 12. Потужні субмікронні ПТШ, гетероструктурні польові транзистори. Гетеробіполярні транзистори. Потужні МОП-транзистори. Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Завдання на СРС: Особливості характеристик субмікронних компонентів з вбудованими квантовими ямами. Характеристики мал шумлячих і потужних субмікронних транзисторних структур.
4	Тема: НАНОБІОСИСТЕМИ. 13. Нанобіосенсори. 14. Біонаноструктури. Характеристики біонаночастинок. Методи дослідження біонаноелектронних систем. Завдання на СРС: Особливості характеристик нанобіосенсорів. Особливості моделювання наносенсорних структур.
5	Тема: НАНОМЕТРОВІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ НА ОСНОВІ НИЗЬКО РОЗМІРНИХ СИСТЕМ 15. Наноконпоненти з використанням тунельного ефекту. Діодні структури, резонансно-тунельні діоди, надграткові структури. 16. Транзисторні структури, транзистори на квантових точках та квантових нитках. 17. Транзистори на вуглецевих трубках та графені. 18. Спінтронні транзистори. Молекулярні транзисторні структури. Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Завдання на СРС: Особливості характеристик і технологій виготовлення структур з низько-розмірними системами.

Практичні заняття (Лабораторний практимум)

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Лабораторна робота № 1 «Моделювання поле-швидкісних характеристик напівпровідникових сполук $A^{III}B^V$ »	3
2	Лабораторна робота № 2 «Моделювання характеристик польової структури на подвійних сполуках $A^{III}B^V$ »	3

3	Лабораторна робота №3 «Моделювання субмікронного транзистора з бар'єром Шоттки»	4
4	Лабораторна робота №4 «Моделювання характеристик субмікронного гетеротранзистора сполюках $A^{III}B^V$ »	4
5	Лабораторна робота №5 «Моделювання польового транзистора з одновимірним каналом»	4

Практичні заняття

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Практичне заняття №1 «Особливості багатодолинних напівпровідників»	2
2	Практичне заняття №2 «Самоузгоджене моделювання багат шарових структур»	2
3	Практичне заняття №3 «Специфічні прояви електронного транспорту за субмікронних розмірів затвору ("сплеск" дрейфової швидкості, вплив підкладки, механізми управління струмом) та їх вплив на параметри транзистора»	2
4	Практичне заняття №4 «Гетероструктурні польові транзистори з високою рухливістю електронів, характерні параметри, методи зниження шуму та підвищення потужності»	2
5	Практичне заняття №5 «Гетеробіполярні транзистори, особливості використання»	2
6	Практичне заняття №6 «Транзистори на гарячих електронах»	2
7	Практичне заняття №7 «Діодні структури, резонансно-тунельні діоди, надграткові структури»	2
8	Практичне заняття №8 «Транзисторні структури, транзистори на квантових точках та квантових нитках»	2
9	Практичне заняття №9 «Транзистори на вуглецевих трубках та графені»	2

Методичні рекомендації

Дисципліна вивчається за активним методом, викладач і студенти взаємодіють один з одним в ході аудиторних навчальних занять та консультацій. Можуть застосуватись дистанційні методи навчання, включаючи on-line технології. Для забезпечення наочності навчальних занять рекомендовано використовувати презентаційні матеріали за допомогою комп'ютера, мультимедійного проектору і екрану. Для ілюстрації окремих найбільш вагомих теоретичних і експериментальних нових наукових результатів у відповідних темах використовуються наукові презентації із застосуванням широкого спектру багатовимірних графічних і мультимедійних засобів.

При проведенні занять по дисципліні варто зосередитися на необхідності гармонійного поєднання теоретичних аспектів дисципліни і наявних експериментальних даних.

Методика вивчення дисципліни повинна бути спрямована на досягнення формування системних знань про взаємозв'язок фізичних, технологічних і практичних аспектів моделювання і проектування, створення і функціонування мікро- і наноприладів.

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- відвідування лекційних та практичних занять (занять лабораторного практимуму) є обов'язковою складовою вивчення матеріалу;
- на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує гугл-диск для викладання матеріалу поточної лекції, додаткових ресурсів, лабораторних робіт та інше; викладач відкриває доступ до певної директорії гугл-диска.;
- на лекції заборонено відволікати викладача від викладання матеріалу, усі питання, уточнення та ін. студенти задають в кінці лекції у відведений для цього час;
- Лабораторні роботи захищаються на поточних заняттях;
- заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях і лабораторних заняттях. Кількість заохочуваних балів не більше 10.

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

Рейтингова система оцінювання результатів навчання з кредитного модуля «Моделювання мікро- і наноелектронних компонентів та систем» спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка».

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи	
	кредити	акад. год.	Лекц.	Практич.	Лаб. роб. (лаб. прак.)	СРС	МКР	Семестрова атестація
3	5	150	36	18	18	78	2	екзамен

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Комп'ютерний практимум

Ваговий бал – 8. Максимальна кількість балів за всі роботи комп'ютерного практимуму дорівнює $8 \text{ балів} \times 5 = 40 \text{ балів}$.

2. РГР – максимальна кількість балів – 20.

3. Екзамен

Умовою допуску до екзамену є виконання та захист всіх робіт, РГР та сума балів комп'ютерного практимуму +РГР не менше 60.

Максимальна кількість балів за всі завдання екзамену дорівнює $10 \text{ балів} * 4 = 40 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання кожного завдання:

- 10 - правильна відповідь;
 - 8 - правильна відповідь з незначними неточностями;
 - 6 - правильна відповідь з значними неточностями;
 - 4 - неправильна відповідь з елементами правильної;
 - 2 - наявність спроб надати правильну відповідь;
 - 0- неправильна відповідь або відсутність відповіді.
- Ваговий бал за усі додаткові питання екзамену – 10.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за активність на аудиторних заняттях і виконання РГР..

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

Залік. Умовою допуску до екзамену є виконання і захист робіт комп'ютерного практикуму та РГР.

Переведення рейтингових оцінок у традиційні оцінки

У разі визначення підсумкового рейтингу поточний рейтинг нормується до шкали 0...100

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Можливі додаткові бали за наявності сертифікатів щодо платформи CADENCE, про проходження дистанційних чи онлайн курсів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено зав. кафедрою електронної інженерії, д.т.н., проф. Тимофєєвим Володимиром Івановичем

Ухвалено кафедрою електронної інженерії (протокол № 31 від 21 червня 2023р.)

Погоджено Вченою радою факультету електроніки (протокол № 06/23 від 29.06.2023р.)