



Прилади на нанорозмірних та квантових ефектах

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації</i>
Спеціальність	<i>176 Мікро- та наносистемна техніка</i>
Освітня програма	<i>Мікро- та наноелектроніка</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ЕКТС (150 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська / Англійська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.ф-м.н., доц. Свечніков Г.С., svgeorge13@gmail.com Практичні: к.т.н. ст.вик. Воронько А. О., a.voronko-me@iit.kpi.ua</i>
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Друга половина ХХ століття була ознаменована цілою серією новаторських відкриттів і їх прикладною реалізацією в електроніці (і не тільки в ній), що призвели до якісного стрибка в електронній техніці. Серед них наноелектроніка стала одним з головних технологічних досягнень, що істотно визначили темпи розвитку і пріоритети науково-технічного прогресу нашого часу.

На даний час, збільшення щільності компонування елементів у складі інтегральної схеми можливо тільки за рахунок зменшення їхніх фізичних розмірів. Очевидно, що ця закономірність не може діяти безкінечно і безперервне зменшення розмірів електронних виробів повинно колись і якось закінчитись. Перехід на квантовий рівень являється важливим етапом у розвитку наноелектроніки, однак створення штучних квантових гетероструктур, особливо великої інтегрованої множини таких структур з ідентичними характеристиками, в даний час представляє складні технологічні труднощі. В міру наближення розмірів твердотільних структур до нанометрової області все більше проявляються квантові властивості електрона. У його поведінці починають переважати хвильові закономірності, характерні для квантових частинок. З одного боку, це призводить до порушення працездатності класичних транзисторів, що використовують закономірності поведінки електрона як класичної частки, а з іншого - відкриває перспективи створення нових унікальних перемикаючих, запам'ятовуючих і посилюючих елементів для інформаційних систем.

Мета: набути знання про елементи і прилади нанoeлектроніки, принципів їх побудови, механізмів струмоперенесення, теоретичних і технологічних границь зменшення розмірів, основ проектування елементів нанoeлектроніки.

В результаті освоєння дисципліни повинні бути сформовані такі **компетентності**:

загальні:

- ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК 2. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
- ЗК 3. Здатність спілкуватися іноземною мовою.
- ЗК 4. Здатність проводити досліджень на відповідному рівні.
- ЗК 5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

та фахові:

- ФК 1 Здатність ефективно використовувати складне контрольно-вимірвальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві матеріалів, компонентів, приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення.
- ФК 5 Здатність аргументувати вибір методів розв'язання складних задач і проблем мікро- та наносистемної техніки, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення.
- ФК 6 Здатність користуватися сучасними системами пошуку та аналізу науково-технічної інформації, проводити патентний пошук і дослідження та здійснювати захист інтелектуальної власності.
- ФК 8 Здатність створювати нові функціональні матеріали та прилади і системи мікро- та наносистемної техніки на їх основі.
- ФК 10 Здатність до розроблення вузлів, приладів і систем мікро- та наносистемної техніки нового функціонального призначення.

По завершенню освітнього компонента здобувачі мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

- ПРН 3. Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення.
- ПРН 4. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері мікро- та нанoeлектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності.
- ПРН 5. Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері мікро- та нанoeлектроніки, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів.
- ПРН 7. Розв'язувати задачі синтезу та аналізу приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки.
- ПРН 8. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її.
- ПРН 16. Проводити випробування, експериментальні та теоретичні дослідження властивостей матеріалів, наноструктур та технологій, компонентів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки.
- ПРН 17. Застосовувати знання і розуміння для ідентифікації, формулювання і вирішення технічних задач мікро- та наносистемної техніки, використовуючи відомі методи, проводити розрахунки та проектування структури приладів та пристроїв мікро- та нанoeлектроніки.

Студент, що вивчив курс повинен знати: апарат понять (термінологію) дисципліни; принципи побудови, конструкції, моделі та методи моделювання надшвидкодійних гетеропереходних транзисторів, транзисторів з резонансним тунелюванням, транзисторів з високою рухливістю електронів, одoeлектронних і спінових транзисторів, елементів на

переходах Джозефсона; принципи побудови квантових комп'ютерів, технологічні операції, що забезпечують нанометрові розміри інтегральних елементів, методи проектування інтегральних пристроїв на основі наноструктур;

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

Якісне вивчення дисципліни забезпечується знаннями отриманими на бакалаврських курсах (Пререквізити): Матеріали і компоненти мікро- та наносистемної техніки, Напівпровідникова електроніка, Технологічні основи електроніки, Наноелектроніка, Фізика конденсованого стану. При вивченні дисципліни використовується апарат математичної фізики, теорії ймовірностей та математичної статистики.

Постреквізити:

- ПО 6. Наукова робота за темою магістерської дисертації.
- ПО 7. Практика
- ПО 8. Виконання магістерської дисертації

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Короткий експурс до історії. Основні тенденції розвитку елементної основи наноелектроніки. Принципи побудови нанотранзисторів. Проблеми, пов'язані з проектуванням та моделюванням елементів та приладів на основі наноструктур.

Розділ 1. Фізичні та технологічні межі зменшення розмірів елементів мікроелектроніки

Тема 1.1 Фізичні обмеження у технології виробництва електронних компонентів. Точність літографічного процесу та відтворюваність параметрів.

Тема 1.2. Обмеження, що накладаються механізмом роботи компонентів. Обмеження електрофізичних властивостей.

Тема 1.3. Обмеження міжелементних зв'язків. Теплофізичні обмеження. Масштабування в мікро- та наноелектроніці.

Розділ 2. Основи скануючої зондової мікроскопії

Тема 2.1. Принципи роботи скануючих зондових мікроскопів.

Тема 2.2. Скануюча тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія.

Тема 2.3. Електросилова мікроскопія. Магнітно-силова мікроскопія Близькопольна оптична мікроскопія.

Розділ3. Надшвидкодійні наноструктури

Тема 3.1. Біполярні нанотранзистори з плавним гетеропереходом. Гетероперехідні польові нанотранзистори з високою рухливістю носіїв.

Тема 3.2. Транзистори на гарячі електрони. Транзистори зі статичною індукцією

Тема 3.3. Резонансно-тунельні діоди. Транзистори з резонансним тунелюванням.

Тема 3.4. HEMT - структури на основі широкозонних вюрцитних напівпровідникових сполук групи III-N (AlN, GaN, InN) та твердих розчинів на їх основі.

Тема 3.5. Функціональні елементи НВІС на основі нанорозмірних структур. Елемент Джозефсона.

Тема 3.6. Інтегральні логічні елементи та елементи пам'яті на основі переходів Джозефсона.

Розділ 4. Одноелектронні наноструктури

Тема 4.1. Квантові дроти та квантові точки. Вуглецеві нанотрубки.

Тема 4.2. Принцип кулонівської блокади. Конструкції одноелектронного транзистора. Ефект одноелектронного тунелювання.

Тема 4.3. Багатоострівкові одноелектронні структури. Інтегральні логічні елементи та елементи пам'яті на основі одноелектронних структур.

Тема 4.4. Проблеми побудови інтегральних пристроїв з урахуванням одноелектронних транзисторів.

Розділ 5. Спинові наноструктури

Тема 5.1. Принцип спінової фільтрації потоку електронів. Принципи побудови та конструкції спинових транзисторів.

Тема 5.2. Інтегральні логічні елементи та елементи пам'яті на основі спинових транзисторів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні:

1. Ю.М. Поплавко, О.В.Борисов, Ю.І.Якименко Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка.- К, НТУУ КПІ, 2012, С.300.
2. Charles P. Poole, Jr., Frank J. Owens. Introduction to Nanotechnology. John Wiley & Sons, 2003

Додаткові:

1. Основи наноелектроніки : Навчальний посібник / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 199 с.
2. Находкін М.Г., Шека Д.І. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки – Київ, КНУ ім Т.Г.Шевченка 2005, 431с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекція 1. Вступ. Короткий експурс до історії. Основні тенденції розвитку елементної основи наноелектроніки. Принципи побудови нанотранзисторів. Проблеми, пов'язані з проектуванням та моделюванням елементів та приладів на основі наноструктур.

Лекції 2. Фізичні обмеження у технології виробництва електронних компонентів. Точність літографічного процесу та відтворюваність параметрів.

Лекції 3. Обмеження, що накладаються механізмом роботи компонентів. Обмеження електрофізичних властивостей.

Лекції 4. Обмеження міжелементних зв'язків. Теплофізичні обмеження. Масштабування в мікро- та наноелектроніці.

Лекції 5. Принципи роботи скануючих зондових мікроскопів. Скануюча тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія.

Лекції 6. Електросилова мікроскопія. Магнітно-силова мікроскопія. Близькопольна оптична мікроскопія.

Лекції 7. Біполярні нанотранзистори з плавним гетеропереходом. Гетероперехідні польові нанотранзистори з високою рухливістю носіїв.

Лекції 8. Транзистори на гарячі електрони. Транзистори зі статичною індукцією.

Лекція 9. Резонансно-тунельні діоди. Транзистори з резонансним тунелюванням.

Лекції 10. HEMT-структури на основі широкозонних вюрцитних напівпровідникових сполук групи III-N (AlN, GaN, InN) та твердих розчинів на їх основі.

Лекції 11. Функціональні елементи HBC на основі нанорозмірних структур. Елемент Джозефсона.

Лекції 12. Інтегральні логічні елементи та елементи пам'яті на основі переходів Джозефсона.

Лекції 13. Квантові дроти та квантові точки. Вуглецеві нанотрубки.

Лекції 14. Принцип кулонівської блокади. Конструкції одноелектронного транзистора. Ефект одноелектронного тунелювання.

Лекції 15. Багатоострівкові одноелектронні структури. Інтегральні логічні елементи та елементи пам'яті на основі одноелектронних структур.

Лекції 16. Проблеми побудови інтегральних пристроїв з урахуванням одноелектронних транзисторів.

Лекція 17. Принцип спінової фільтрації потоку електронів. Принципи побудови та конструкції спинових транзисторів.

Лекції 18. Інтегральні логічні елементи та елементи пам'яті на основі спінових транзисторів.

Практичні заняття

Основне завдання практичних занять – поглиблене вивчення окремих розділів курсу з метою свідомого сприйняття основного матеріалу даного курсу та розвитку уміння самостійно знаходити необхідну інформацію, а так само виробляти вміння і навички представлення отриманих результатів.

На практичних заняттях студенти готують доповіді відповідно до тем індивідуальних завдань..

Приклади тем індивідуальних завдань:

1. Application of Graphene to High-Speed Transistors: Expectations and Challenges
2. Nano-scale Nanocrystal Quantum Dot Photodetectors
3. Comparative investigation of InGaP/GaAs pseudomorphic field-effect transistors with triple doped-channel profiles
4. High Electron Mobility InAs Nanowire Field-Effect Transistors

Теми доповідей оновлюються кожного семестру

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студенту в продовж семестру полягає у виконанні розрахункової роботи (20 годин). Та поглибленому вивченні тем винесених на вивчення за даною дисципліною у наступному обсязі:

Назва тем	Розподіл СРС, годин
Тема 1.1 Фізичні обмеження у технології виробництва електронних компонентів. Точність літографічного процесу та відтворюваність параметрів.	2
Тема 1.2. Обмеження, що накладаються механізмом роботи компонентів. Обмеження електрофізичних властивостей.	2

Тема 1.3. Обмеження міжелементних зв'язків. Теплофізичні обмеження. Масштабування в мікро- та нанoeлектроніці	2
Тема 2.1. Принципи роботи зондувальних мікроскопів, що сканують..	4
Тема 2.2. Скануюча тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія.	4
Тема 2.3. Електросилова мікроскопія. Магнітно-силова мікроскопія Близькопольна оптична мікроскопія.	4
Тема 3.1. Біполярні нанотранзистори з плавним гетеропереходом. Гетероперехідні польові нанотранзистори з високою рухливістю носіїв.	4
Тема 3.2. Транзистори на гарячі електрони. Транзистори зі статичною індукцією	4
Тема 3.3. Резонансно-тунельні діоди. Транзистори з резонансним тунелюванням.	4
Тема 3.4. HEMT - структури на основі широкозонних вюрцитних напівпровідникових сполук групи III-N (AlN, GaN, InN) та твердих розчинів на їх основі..	4
Тема 3.5. Функціональні елементи HBIC на основі нанорозмірних структур. Елемент Джозефсона.	4
Тема 3.6. Інтегральні логічні елементи та елементи пам'яті на основі переходів Джозефсона.	3
Тема 4.1. Квантові дроти та квантові точки. Вуглецеві нанотрубки.	3
Тема 4.2. Принцип кулонівської блокади. Конструкції одoeлектронного транзистора. Ефект одoeлектронного тунелювання.	3
Тема 4.3. Багатоострівкові одoeлектронні структури. Інтегральні логічні елементи та елементи пам'яті на основі одoeлектронних структур.	3
Тема 4.4. Проблеми побудови інтегральних пристроїв з урахуванням одoeлектронних транзисторів.	2
Тема 5.1. Принцип спінової фільтрації потоку електронів. Принципи побудови та конструкції спінових транзисторів	3
Тема 5.2. Спінови кубіти для квантової обробки інформації та схем для топологічних квантових обчислень.	3
Всього, годин	58

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування всіх видів занять є обов'язковим.

На **практичних заняттях** кожен студент отримує оригінальний матеріал (стаття, доповідь на конференції, розділ книги) на мові оригіналу (англійська), який стосується якоїсь окремої проблеми пов'язаної з курсом. Необхідно зробити якісний переклад, розібратися в питанні, за потреби використовувати додатковий матеріал, який студент повинен знайти сам. Опрацьований матеріал подається у вигляді звіту та доповіді, презентації на занятті. Студент повинен бути готовим відповісти на всі питання аудиторії з теми індивідуального завдання.

На розрахунковій роботі студенту необхідно запропонувати конструкцію приладу на нанорозмірних та квантових ефектах та розрахувати його основні параметри за заданими викладачем конструктивними параметрами. Звіт з РГР оформлюється відповідно до діючих стандартів та вимог, що пред'являються до звітів у сфері науки і техніки (ДСТУ 3008, ДСТУ 8302).

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

Поточний контроль: **експрес-тести, опитування за темою заняття, МКР.**

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: **залік**

Умови допуску до семестрового контролю: *мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання, виконання розрахункової роботи, семестровий рейтинг більше 40 балів.*

Система рейтингової оцінки по видам занять:

№ з/п	Компоненти, що підлягають рейтинговій оцінці	Загальна кількість завдань	Максимальний бал за 1 завдання	Кількість балів на "відмінно"
1	Експрес-тести або усні опитування на лекційних, або практичних заняттях	10	2	20
2	Розрахункова робота	1	20	20
3	Практичні роботи	2	15	30
4	Модульна контрольна робота	2	15	30
Усього за семестр				100

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

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри мікроелектроніки , к.ф.-м.н. Свечніковим Г.С

Ухвалено кафедрою мікроелектроніки (протокол № 22 від 23.06.2023)

Погоджено Методичною комісією факультету електроніки (протокол № 06/2023 від 29.06.2023)