Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра
Мікроелектроніки

Спецкурс мікро- та наносистемної техніки

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	***Другий (магістерський)***
Галузь знань	*17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації*
Спеціальність	*176 Мікро- та наносистемна техніка*
Освітня програма	*Мікро- та наносистемна техніка*
Статус дисципліни	*Вибіркова*
Форма навчання	*очна(денна)*
Рік підготовки, семестр	*1 курс, весняний семестр*
Обсяг дисципліни	*4 кредитів (120 годин)*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*залік*
Розклад занять	
Мова викладання	*Українська/Англійська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор/ Практичні: к.ф-м.н. Свєчніков Г.С. svgeorge13@gmail.com
Розміщення курсу	Код курса e3b4tzc https://meet.google.com/lookup/czqemur5lm

Програма навчальної дисципліни

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

Друга половина XX 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 інтегральна мікроелектроніка (МЕ) стала одним з головних технологічних досягнень, що істотно визначили темпи розвитку і пріоритети науково-технічного прогресу нашого часу. Цей акцент МЕ зберігає і сьогодні, завдяки її новаторським підходам, в першу чергу, в прогресивних технологіях і матеріалах, їх швидких промислових реалізаціях.
Виходячи із загальних тенденцій розвитку мікроелектроніки та її обмежень, викладені її основні напрямки з позицій екстремальності, технологічності та конкурентоспроможності в рамках традиційних методів і засобів кремнієвої технології на прикладі граничної мікромініатюризації активного елемента-транзистора як засобу підвищення швидкодії, мінімізації фактора якості і досягнення граничних рівнів інтеграції надвеликих інтегральних схем.
Знання, набуті в результаті вивчення даного курсу, використовуються при підготовці дипломних проектів та робіт.

Мета: набути знання про розвиток сучасного етапу мікроелектроніки як передової технології електронної техніки
розвинути уміння:
- аналізувати особливості основних факторів обмеження сучасної мікроелектроніки;
- аналізувати особливості функціонування компонентів мікросистемної техніки;

здійснювати порівняння характеристик компонентів мікросистемної техніки і визначати області їх раціонального застосування.

Студент, що вивчив курс повинен

знати:

• апарат понять (термінологію) дисципліни;

•основні типи приладів , принципи їх дії, характеристики і параметри; Залежності характеристик і параметрів від умов експлуатації,області застосування;

• основи аналізу і розрахунку приладів дисципліни

• основні технічні та технологічні рішення в області дисципліни

вміти:

• використовувати елементну базу о мікроелектроніки для побудови приладів і пристроїв

• експериментально визначати основні характеристики і параметри широко використовуваних приладів і пристроїв мікроелектроніки

• працювати з технічною літературою, і технічною документацією

• вирішувати завдання, пов'язані з явищами мікроелектроніки, і застосовувати принципи їх рішення для опису практично важливих ситуацій;

володіти:

• методами постановки задачі і методикою проведення експерименту з використанням елементів мікроелектроніки;

• прийомами і алгоритмами вирішення завдань мікроелектроніки

• методами дослідницької роботи в області мікроелектроніки.

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

Дисципліна " Спецкурс мікро- та наносистемної техніки " забезпечується курсами базової вищої освіти напрямку: "Фізична хімія", "Твердотільна електроніка", "Статистична фізика", "Фізика напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем", "Технологічні основи електроніки", "Оптоелектроніка", та фахової підготовки: "Технологія виробництва напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем".

Зміст навчальної дисципліни

Вступ до курсу

Тема 1. Мікромініатюризація транзисторів в кремнієвій технології.

Тема 2. Транзистор як активний елемент в мікроелектроніці та обмеження його енергетичної ефективності.

Тема 3. Чисті кімнати в технології ВІС і НВІС.

Тема 4. Кремнієві заводи

Тема 5. Особливості переходу на 450 мм кремнієві пластини

Тема 6. Функція активного елементу в мікросхемотехніці та оцінка його енергетичної ефективності.

Тема 7. Скейлінг процес в мікромініатюризації компонентів інтегральних схем.

Тема 8. Границі мікромініатюризації МДНтранзистора по скейлінгу.

.

Тема 9. Обмеження довжини каналу за режимом параметрів транзистора.

Тема 10. КНІ технологія в МДНТ малої геометрії.

Тема 11. Дво-та більше затворні КНІ МДНТ.

Тема 12. Fin FET транзистори

Тема 13. Технології FD-SOI

Тема 14. Планарная технологія з використанням імерсійної ультрафіолетової літографії

Тема 15. Рентгенівська літографія на базі лазера на вільних електронах

Тема 16. Літографія в глибокому ультрафіолеті

Тема 17. Роль степпера в фотолітографії

Тема 18. Паразитні параметри МДН транзисторів і їх оцінка.

Тема 19. Металізація та обмеження в блоці міжз'єднань

Тема 20. Електротехнічні параметри ліній зв'язку та їх обмеження.

2. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Елементи сучасної мікроелектроніки [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», спеціалізації «Мікроелектронні інформаційні системи» / Г. С. Свєчніков, Ю. В. Діденко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 IOP Concise Physics (December 1, 2014) Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 248 с.
2. The Tao of Microelectronics (Iop Concise Physics: A Morgan & Claypool Publication) by Yumin Zhang 118 pages

Додаткові матеріали та ресурси:

1. CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation (IEEE Press Series on Microelectronic Systems) 4th Edition by R. Jacob Baker Wiley-IEEE Press; 4th edition (July 11, 2019) 1280 pages

2. Fundamentals of Microelectronics 3rd Edition by Behzad Razavi Wiley; 3rd edition (April 20, 2021) 960 pages

Навчальний контент

3. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття:

Лекція №1

Вступ до курсу

Лекція №2

Тема 1. Мікромініатюризація транзисторів в кремнієвій технології.

Лекція №3

Тема 2. Транзистор як активний елемент в мікроелектроніці та обмеження його енергетичної ефективності.

Лекція №4

Тема 3. Чисті кімнати в технології BIC і HBIC.

Лекція №5

Тема 4. Кремнієві заводи

Лекція №6

Тема 5. Особливості переходу на 450 мм кремнієві пластини

Лекція №7

Тема 6. Функція активного елементу в мікросхемотехніці та оцінка його енергетичної ефективності.

Лекція №8

Тема 7. Скейлінг процес в мікромініатюризації компонентів інтегральних схем.

Тема 8. Границі мікромініатюризації МДНтранзистора по скейлінгу.

Лекція №9

Тема 9. Обмеження довжини каналу за режимом параметрів транзистора.

Лекція №10

Тема 10. КНІ технологія в МДНТ малої геометрії.

Лекція №11

Тема 11. Дво-та більше затворні КНІ МДНТ.

Лекція №12

Тема 12. Fin FET транзистори

Лекція №13

Тема 13. Технології FD-SOI

Лекція №14

Тема 14. Планарная технологія з використанням імерсійної ультрафіолетової літографії

Тема 15. Рентгенівська літографія на базі лазера на вільних електронах

Лекція №15

Тема 16. Літографія в глибокому ультрафіолеті

Лекція №16

Тема 17. Роль степпера в фотолітографії

Лекція №17

Тема 18. Паразитні параметри МДН транзисторів і їх оцінка.

Тема 19. Металізація та обмеження в блоці міжз'єднань

Лекція №18

Тема 20. Електротехнічні параметри ліній зв'язку та їх обмеження.

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 же напрацювати вміння і навички представлення отриманих результатів. Кожен студент отримує оригінальний матеріал (стаття, доповідь на конференції, розділ книги) мовою оригіналу (англійський), який стосується якоїсь окремої проблеми в розділі курсу, що читається.

Необхідно зробити якісний переклад, розібратися в питанні і якщо необхідно використовувати додатковий матеріал, який студент повинен знайти сам. Відпрацьований матеріал представляється у вигляді доповіді презентації на занятті.

Студент повинен бути готовим відповісти на всі питання аудиторії з даної доповіді.

Приклади тем доповідей (семестр 2):*

1. *The Future of Silicon*
2. *Vertical Silicon Nanowire Platform for Low Power Electronics and Clean Energy Applications*
3. *Moving To GAA FETs*
4. *Transistor Options Beyond 3nm*

** Теми доповідей оновлюються кожного семестру*

4. *Самостійна робота студента/аспіранта*

Для стимуляції самостійної роботи студентів, заохочення їх до самовдосконалення та знайомства з новітніми інформаційними технологіями в кредитному модулі передбачено в якості індивідуального завдання на самостійну роботу додатково винесено вивчення наступного теоретичного матеріалу:

	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	*Кількість годин СРС*
1	*Планарні технології з повним виснаженням кремнію на ізоляторі*	*10 годин*
2	*Soitec FD-2D підкладки Найкраща енергоефективність та продуктивність*	*18 годин*
3	*Застосування вуглецевих наноструктур в мікро і наноелектроніці*	*20 годин*
4	*Нові застосування для високоякісних High K матеріалів у технології VLSI*	*18 годин*

Контроль якості засвоєння програми дисципліни передбачається за допомогою усного індивідуального та фронтального опитування студентів по тематиці змістових модулів. До курсу введені модульні тематичні опитування під час захисту докладів практичних занять.

Політика та контроль

5. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування всіх видів занять є обов'язковим.
Виконання всіх завдань є обов'язковою умовою допуску до заліку.
Практичний проект повинен бути захищен. На захист повинна бути пред'явлена виконана робота в електронному та друкованому варіантах. Друкований варіант повинен бути оформлений згідно вимог університету і повинен містити титульний аркуш,. Процедура захисту складається з відповідей на запитання викладача та студентів за темою роботи. За неправильні відповіді або неправильне оформлення роботи оцінка знижується згідно вимог РСО. За умови неправильної відповіді більш ніж на третину запитань захист не зараховується.
Максимальна оцінка проекту становить 45 балів

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

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Для успішного проходження першого календарного контролю: студент повинен набрати не менше 20% балів від максимального сумарного рейтингу протягом семестру. Для успішного

проходження другого календарного контролю студент повинен набрати не менше 40% балів від максимального рейтингу.
Семестровий контроль здійснюється у вигляді екзамену.
Студенти, які набрали протягом семестру необхідну для позитивної оцінки кількість балів мають можливості:
- не складати екзамену , а отримати оцінку „ автоматом ” відповідно до набраного рейтингу з дисципліни;
- складати екзамен з метою підвищення оцінки.
У разі отримання на екзамену оцінки нижчої , ніж за рейтингом, за студентом не зберігається оцінка отримана „ автоматом ”.
Студенти, семестровий рейтинг яких відповідає оцінці „ незадовільно ”, зобов'язані складати екзамену.
Студенти, які за семестровим рейтингом не допущені до екзамену з цієї дисципліни, зобов'язані підвищити його до рівня не менше 60%.
Оцінка визначається за сумою набраних рейтингових балів відповідно до системи розрахунку шкали рейтингу.
Рейтинговий бал студента нараховується за наступними правилами;
1. Календарний контроль- 2х20
2. практичний прект -45

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
Семестровий контроль: екзамен / залік
Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 60 балів.

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

7. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Приклади запитань для семестрового контролю.

1. Світова тенденція останніх років в області мікроелектроніки полягає в наступному:
2. Методи підвищення швидкодії активних елементів в мікроелектроніці (блок схема).
3. При lк<lк* і lк~Wопз умови плавного наближення вже не виконуються і починають домінувати ефекти короткого каналу, а саме
4. До чого призводить двовимірний характер розподіл потенціалу в короткоканальному приладі?
5. Одночасно найбільша щільність упаковки (xmin) і максимально можлива частота (tmin) в ІС, чому дорівнює потужність Р, що виділяється, на одиницю площі
6. Що таке IDM Компанія, приклад?
7. Технічні труднощі переходу на пластини 450мм
8. Три категорії фабрик в електронній промисловості, характеристики Гіга фабрик
9. Чим обмежено зміщення на підкладку в об'ємних КНІ МОНТ
10. UTSOI (ultra-thin SOI) ультратонких КНІ МОНТ основні переваги в порівнянні з об'ємним CMOS

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

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

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