

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА



Факультет фізико-технічний факультет  
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Суб- і нанометрові технології ВІС**

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Освітня програма: Комп'ютерне проектування інтегральних схем

Спеціальність: G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка

Галузь знань: G Інженерія, виробництво та будівництво

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол №13 від 26 серпня 2025 р.

м. Івано-Франківськ – 2025 р.

## ЗМІСТ

1. Загальна інформація	3
2. Опис дисципліни	3
3. Структура курсу	5
4. Система оцінювання курсу	6
5. Оцінювання відповідно до графіку навчального процесу	7
6. Ресурсне забезпечення	7
7. Контактна інформація	7
8. Політика навчальної дисципліни	8

## 1. Загальна інформація

Назва дисципліни	Суб- і нанометрові технології ВІС
Освітня програма	Комп'ютерне проектування інтегральних схем
Спеціалізація (за наявності)	
Спеціальність	G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка
Галузь знань	G Інженерія, виробництво та будівництво
Освітній рівень	бакалавр
Статус дисципліни	вибіркова
Курс / семестр	3/5
Розподіл за видами занять та годинами навчання (якщо передбачені інші види, додати)	3 кредитів Лекції – 14 год. Лабораторні заняття – 16 год. Самостійна робота – 60 год.
Мова викладання	українська
Посилання на сайт дистанційного навчання	<a href="https://d-learn.pnu.edu.ua/">https://d-learn.pnu.edu.ua/</a>

## 2. Опис дисципліни

### Мета та цілі курсу

**Метою** вивчення навчальної дисципліни “Суб- і нанометрові технології ВІС” є надання студентам глибоких знань та практичних навичок у сфері суб- та нанометрових технологій ВІС, необхідних для професійної діяльності в галузі мікро- та наноелектроніки, підготовка до самостійних досліджень та інновацій у галузі напівпровідникових технологій.

Основними **завданнями** навчальної дисципліни є:

– формування фундаментальних знань про фізику та технологію напівпровідникових приладів на нанометровому рівні, квантові ефекти в наноструктурах та фізичні обмеження масштабування;

– освоєння сучасних методів нанолітографії, процесів травлення, легування та епітаксійного росту на атомарному рівні;

– оволодіння методами характеристизації наноструктур (SEM, TEM, AFM, XPS, Raman);

– набуття практичних навичок використання програмних інструментів моделювання (DEVSIM, ngspice, KLayout), розробки технологічних маршрутів та Monte Carlo моделювання;

– розвиток дослідницьких компетенцій: критичний аналіз літератури, проектування оригінальних приладів та процесів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

**знати:**

– основи фізики напівпровідників на нанометровому рівні, квантові ефекти в ultra-scaled devices;

- сучасні технологічні процеси від атомарного рівня до системної інтеграції (EUV літографія, Atomic Layer Etching, LSS теорія);
- матеріали та процеси суб- і нанометрових технологій (вуглецеві нанотрубки, 2D матеріали, TMDCs);
- методи контролю якості, тестування та характеристикації нанометрових структур;
- новітні архітектури транзисторів (FinFET, GAA, CFET) та beyond CMOS технології.

**вміти:**

- моделювати semiconductor devices використовуючи TCAD tools (DEVSIM, Nextnano);
- проектувати technology process flows для нанометрових приладів;
- аналізувати експериментальні дані з характеристикації наноструктур;
- використовувати open-source EDA інструменти для device simulation;
- проводити Monte Carlo моделювання процесів іонної імплантації;
- критично оцінювати технологічні тренди та прогнозувати напрямки розвитку.

**Компетентності**

**Загальні компетентності**

ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

**Спеціальні (фахові) компетентності**

СК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.

СК2. Здатність виконувати аналіз предметної області та нормативної документації, необхідної для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.

СК5. Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові й технічні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, навички роботи з комп'ютерними мережами, базами даних та Інтернет-ресурсами для вирішення інженерних задач в галузі електроніки.

СК9. Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв для проектування мікропроцесорних та електронних систем.

**Програмні результати навчання**

P1. Описувати принцип дії за допомогою наукових концепцій, теорій та методів та перевіряти результати при проектуванні та застосуванні приладів, пристроїв та систем електроніки.

P2. Застосовувати знання і розуміння диференційного та інтегрального

числення, алгебри, функціонального аналізу дійсних і комплексних змінних, векторів та матриць, векторного числення, диференціальних рівняння в звичайних та часткових похідних, ряду Фур'є, статистичного аналізу, теорії інформації, чисельних методів для вирішення теоретичних і прикладних задач електроніки.

P5. Застосовувати знання та розуміння принципів та методів проектування, синтезу та аналізу електронних схем і систем.

P7. Використовувати знання та розуміння принципів та методів проектування, синтезу та аналізу мікро- та наноелектронних пристроїв та систем.

### 3. Структура курсу

№	Тема	Результати навчання	Кількість годин	Завдання
1	Тема 1. Ландшафт нанометрових технологій та підготовка поверхні	Розуміти еволюцію закону Мура, виклики масштабування, фізику плазми та Atomic Layer Etching (ALE); оптимізувати параметри плазми для суб-нанометрової точності.	4	Лабораторна робота (звіт); тести; контрольні запитання
2	Тема 2. Розширена літографія та формування патернів	Оволодіти принципами EUV літографії, High-NA систем, альтернативними методами (E-beam, NIL, DSA); проектувати multi-patterning стратегії та аналізувати правила проектування.	4	Лабораторна робота (звіт); тести; контрольні запитання
3	Тема 3. Формування переходів та інженерія легування	Аналізувати LSS теорію, механізми іон-твердого взаємодії; проектувати процеси імплантації та активації домішок (RTA, laser annealing) для FinFET/GAA.	4	Лабораторна робота (звіт); тести; контрольні запитання
4	Тема 4. Методи характеристики нанометрових структур	Оволодіти мульти-технічним аналізом (SEM/TEM, AFM/STM, XPS/Raman); інтерпретувати експериментальні дані та використовувати корелятивну мікроскопію з ML.	4	Лабораторна робота (звіт); тести; контрольні запитання
5	Тема 5. Вуглецеві наноматеріали та 2D матеріали	Розрізняти типи CNT/графену/TMDCs за властивостями; проектувати Ван-дер-Ваальсові гетероструктури, розрахувати вирівнювання смуги 2/2.	4	Лабораторна робота (звіт); тести; контрольні запитання

6	Тема 6. Квантові структури: епітаксія, ями, точки та нанодроти	Оволодіти МВЕ/МОСVD для епітаксії; проектувати квантові ями/точки/дроти, розуміти 0D/1D/2D обмеження.	4	Лабораторна робота (звіт); тести; контрольні запитання
7	Тема 7. Розширені архітектури транзисторів та за межами CMOS	Аналізувати еволюцію FinFET→GAA→CFET; оцінювати квантові обчислення, нейроморфні пристрої, стійкість в нанoeлектроніці.	4	Лабораторна робота (звіт); тести; контрольні запитання
8	Тема 8. Інтеграція, тестування та індустріальні тренди	Критично оцінювати тренди (TSMC N2, Intel 18A); розробляти процес потоки, кейси; презентувати дослідницькі пропозиції.	2	Комплексний проект (презентація)

#### 4. Система оцінювання курсу

Накопичування балів під час вивчення дисципліни	
Види навчальної роботи	Максимальна кількість балів
Лекція	25
Лабораторні заняття	20
Самостійна робота	5
Залік/Екзамен	50
Максимальна кількість балів	100

#### 5. Оцінювання відповідно до графіку навчального процесу

Види навчальної роботи	Номер навчального заняття																	Разом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Лекції	3		4		3		3		3		3		3		3			25
Лабораторні з-тя		2		3		3		3		3		3		3				20
Самостійна р-та																5		5
Залік /Екзамен																	50	50
Всього за заняття	2	2	4	4	2	2	4	4	4	2	3	2	3	2	5	5	50	100

**Примітка:** не рекомендується на один тиждень планувати кілька форм контролю.

#### 6. Ресурсне забезпечення

Матеріально-технічне забезпечення	Мультимедіа, лабораторія, комп'ютери.
<b>Література:</b>	
<b>Основна</b>	
1. С.І. Ятченко, О.М. Стадник. Мікро- та нанотехнології в електроніці: навчальний посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2016.	
2. В.М. Шило, О.В. Дьомін. Технологія виробництва напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем. – Харків: ХНУРЕ, 2017.	
3. C. Wolf, R.N. Tauber. Silicon Processing for the VLSI Era. Volume 1–3. – Lattice Press, 2000–2003.	

4. ITRS/IRDS. International Roadmap for Devices and Systems (IRDS). – IEEE, останні видання.
5. S. M. Sze, K.K. Ng. Physics of Semiconductor Devices (3rd ed.). – Wiley-Interscience, 2006.
6. R. Jacob Baker. CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation (4th ed.). – Wiley-IEEE Press, 2019.
7. James D. Plummer, Michael Deal, Peter B. Griffin. Silicon VLSI Technology: Fundamentals, Practice and Modeling. – Prentice Hall, 2000.
8. Mark Lundstrom. Fundamentals of Nanotransistors. – World Scientific, 2013.
9. Stephen Campbell. The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication (2nd ed.). – Oxford University Press, 2001.
10. Charles A. Harper. Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology (2nd ed.). – CRC Press, 2007.

#### Додаткова

11. R. Waser (ed.). Nanoelectronics and Information Technology. – Wiley-VCH, 2012.
12. Vladimir V. Mitin, Viatcheslav A. Kochelap, Michael A. Stroscio. Introduction to Nanoelectronics: Science, Nanotechnology, Engineering, and Applications. – Cambridge University Press, 2008.
13. Bharat Bhushan. Springer Handbook of Nanotechnology (4th ed.). – Springer, 2017.
14. K. E. Petersen, K. W. J. Jones (eds.). Microsystem Technology. – Springer, 2011.
15. Colin P. Hunt. Semiconductor Device Fabrication. – Oxford University Press, 2020.

## 7. Контактна інформація

Кафедра	комп'ютерної інженерії та електроніки, вул. Шевченка, 57, ауд. 210 а, (0342)59-60-07, <a href="https://kkite.pnu.edu.ua/">https://kkite.pnu.edu.ua/</a> <a href="mailto:kkie@pnu.edu.ua">kkie@pnu.edu.ua</a>
Викладач	к.т.н., доц. Котик М.В.
Контактна інформація викладача	<a href="mailto:mykhailo.kotyk@cnu.edu.ua">mykhailo.kotyk@cnu.edu.ua</a>

## 8. Політика навчальної дисципліни

Академічна доброчесність	Дотримання академічної доброчесності засновується на ряді положень та принципів академічної доброчесності, що регламентують діяльність здобувачів вищої освіти та викладачів університету: <a href="https://pnu.edu.ua/положення-про-запобігання-плагіату/">https://pnu.edu.ua/положення-про-запобігання-плагіату/</a>
Пропуски занять (відпрацювання)	Можливість і порядок відпрацювання пропущених здобувачем освіти занять регламентується <a href="#">Положення про порядок організації та проведення оцінювання успішності здобувачів освіти ДВНЗ «Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника» (введено в дію наказом ректора № 799 від 26.11.2019 р.; із внесеними змінами наказом № 212 від 06.04.2021 р.)</a> .
Виконання завдання пізніше встановленого терміну	У разі виконання завдання здобувачем освіти пізніше встановленого терміну, без попереднього узгодження ситуації з викладачем, оцінка за завдання – «незадовільно», відповідно до <a href="#">Положення про порядок організації та проведення оцінювання успішності студентів ДВНЗ «Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника» (введено в дію наказом</a>

	<a href="#">ректора № 799 від 26.11.2019 р.; із внесеними змінами наказом № 212 від 06.04.2021 р.).</a>
Невідповідна поведінка під час заняття	Невідповідна поведінка під час заняття регламентується рядом положень про академічну доброчесність та може призвести до відрахування здобувача вищої освіти «за порушення навчальної дисципліни і правил внутрішнього розпорядку вищого закладу освіти», відповідно до <a href="#">Положення про порядок переведення, відрахування та поновлення студентів вищих закладів освіти» (затверджене наказом Міністерства України № 245 від 15.07.1996 р.).</a>
Додаткові бали	Студент має змогу також отримати додаткові бали, пройшовши навчальний курс у вигляді неформальної освіти з отриманням сертифікату в межах тематики дисципліни впродовж навчального семестру; взявши участь у науковому, освітньому чи прикладному проєкті, конференції, круглому столі, інших видах наукової активності, які відповідають профілю дисципліни; опублікувавши наукову працю, яка відповідає профілю дисципліни. Відповідно до <a href="#">Положення про порядок організації та проведення оцінювання успішності студентів ДВНЗ «Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника» (введено в дію наказом ректора № 799 від 26.11.2019 р.; із внесеними змінами наказом № 212 від 06.04.2021 р.).</a> відповідні студенти можуть отримати додаткові бали на підставі рішенням кафедри.
Неформальна освіта	У випадку, коли студент приймав участь у програмі мобільності, можливе врахування отриманих оцінок в іншому навчальному закладі за умови відповідності навчальних планів. Можливість зарахування результатів неформальної освіти регламентується <a href="#">Положенням про порядок зарахування результатів неформальної освіти у ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» (введено в дію наказом ректора № 819 від 29.11.2019; із внесеними змінами наказом № 80 від 12.02.2021 р.).</a> Рекомендовані платформи: <a href="https://ua.udemy.com/">https://ua.udemy.com/</a> ; <a href="https://www.coursera.org/">https://www.coursera.org/</a> <a href="https://prometheus.org.ua/">https://prometheus.org.ua/</a>

Викладач \_\_\_\_\_



**М.В. Котик**