

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА**

Фізико-технічний факультет
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Суб- і нанометрові технології ВІС**

Рівень вищої освіти – третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти

Освітньо-наукова програма «Електроніка»

Спеціальність 171 Електроніка

Галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Затверджено на засіданні кафедри
Протокол № 12 від 30 червня 2023 р.

Івано-Франківськ – 2023 рік

1. Загальна інформація	
Назва дисципліни	Суб- і нанометрові технології ВІС
Викладач (-і)	доцент, кандидат технічних наук Голота Віктор Іванович
Контактний телефон викладача	0342596007
Е-mail викладача	victor.holota@pnu.edu.ua
Формат дисципліни	Очний, дистанційний
Обсяг дисципліни	3 кредити ЄКТС, 90 год.
Посилання на сайт дистанційного навчання	https://d-learn.pnu.edu.ua/
Консультації	відповідно до графіку індивідуальних консультацій, який розміщений на інформаційному стенді кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки
2. Анотація до навчальної дисципліни	
<p>Дисципліна “Суб- і нанометрові технології ВІС” належить до переліку обов’язкових навчальних дисциплін циклу професійної підготовки за освітнім рівнем “Доктор філософії”, що пропонуються в рамках циклу професійної підготовки аспірантів за освітньо-науковою програмою “Електроніка”. Вона забезпечує формування у аспірантів науково-дослідницьких професійно-орієнтованих компетенцій. Предметом вивчення навчальної дисципліни є суб- і нанометрові технології виготовлення великих інтегральних схем (ВІС).</p> <p>Силабус навчальної дисципліни “Суб- і нанометрові технології ВІС” складений відповідно до освітньо-наукової програми “Електроніка” з підготовки докторів філософії спеціальності 171 “Електроніка” галузі знань 17 “Електроніка, автоматизація та електронні комунікації”.</p>	
3. Мета та цілі навчальної дисципліни	
<p>Метою курсу “Суб- і нанометрові технології ВІС” є вивчення сучасних технологічних процесів виготовлення суб- і нанометрових ВІС.</p> <p>Завданням дисципліни “Суб- і нанометрові технології ВІС” є сформувати у аспірантів науково-дослідницькі підходи щодо дослідження і моделювання технологічних процесів виготовлення суб- і нанометрових ВІС з використанням сучасних САПР. Для цього в курсі розглядається наступна тематика:</p> <ul style="list-style-type: none"> - сучасний стан і перспективи розвитку суб- і нанометрових технологій ВІС; - сучасні САПР та програмне забезпечення для дослідження та моделювання суб- і нанометрових технологічних процесів; - базові технологічні процеси мікроелектроніки (обробки поверхні кремнієвих пластин; формування діелектричних, епітаксійних і металічних плівок; літографія; формування електронно-діркових переходів; травлення); - матеріали наноелектроніки, вуглецеві нанотрубки, графенові нанострічки; - нанотехнології і методи дослідження наноструктур та наноматеріалів; - газофазна та молекулярно-променева епітаксія квантових шарів; - технології отримання квантових точок і квантових ниток; - нанорозмірні транзистори. <p>У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен знати:</p>	

- сучасний стан і перспективи розвитку суб- і нанометрових технологій ВІС;
- сучасні САПР та їх можливості для дослідження і моделювання суб- та нанометрових технологічних процесів;
- базові технологічні процеси виготовлення ВІС, та фізико-хімічні явища, які є основою цих процесів;
- особливості і проблеми суб- та нанометрових технологій ВІС;
- можливості створення приладних структур на основі вуглецевих нанотрубок, графенових нанострічок;
- можливості параметричної оптимізації суб- та нанометрових технологічних процесів з використанням САПР.

вміти:

- досліджувати і моделювати суб- та нанометрові технологічні процеси формування діелектричних і епітаксійних плівок;
- досліджувати і моделювати суб- та нанометрові технологічні процеси формування електронно-діркових переходів;
- досліджувати і моделювати суб- та нанометрові технологічні процеси травлення;
- досліджувати і моделювати квантові ями з бар'єрами.

4. Програмні компетентності та результати навчання

ІК. Здатність продукувати нові ідеї, здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у сфері електроніки, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

ЗК4. Систематичні знання сучасних методів проведення досліджень в галузі електроніки та комп'ютерного проектування.

СК2. Здатність розвивати теоретичні засади, створювати і застосовувати сучасні об'єкти і процеси електроніки.

СК3. Здатність комерціалізувати результати досліджень у сфері електроніки.

СК5. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні в сфері електроніки і та дотичні до неї міждисциплінарні проекти.

СК8. Здатність до безперервного саморозвитку та самовдосконалення.

ПРН1. Мати передові концептуальні та методологічні знання з електроніки і на межі предметних галузей, а також універсальні дослідницькі навички, достатні для проведення наукових та прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань, їх використання у власних дослідженнях та викладацькій практиці.

ПРН4. Вміти розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у електроніці та дотичних міждисциплінарних напрямках, у науково-педагогічній діяльності.

ПРН6. Планувати, організовувати роботу та керувати проектами в галузі наукових досліджень, розробки, аналізу, розрахунку, моделювання, виробництва та тестування електронних пристроїв та систем.

ПРН7. Вміння організовувати та керувати дослідницькою, інноваційною та інвестиційною діяльністю, бізнес-проектами та виробничими процесами з урахуванням технологічних показників, вимог ринку, існуючих стандартів, конкурентоспроможності наукової та інженерної продукції, прав інтелектуальної власності, правил професійної етики та академічної доброчесності.

ПРН9. Вміння розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язати значущі наукові та технологічні проблеми

електроніки з врахуванням інженерних, соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.

ПРН12. Здійснювати критичний аналіз та застосовувати знання, вміння і наукові досягнення для розв'язання задач синтезу та аналізу елементів та систем в галузі електроніки та суміжних галузях, знаходити засоби розв'язання проблем і прогнозувати майбутні наслідки прийнятих рішень.

5. Організація навчання

Обсяг навчальної дисципліни

Вид заняття	Загальна кількість годин
лекції	20
лабораторні	10
самостійна робота	60

Ознаки курсу

Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний / вибірковий
2	171 Електроніка	1	Нормативний

Тематика навчальної дисципліни

Тема	Кількість год		
	Лекції	Лаб. заняття	Сам. роб.
Тема 1. Сучасний стан та перспективи розвитку суб- і нанометрових технологій ВІС. Сучасні САПР і програмні засоби моделювання суб- та нанометрових технологій з online доступом, з відкритим кодом, комерційні.	2		4
Тема 2. Технології підготовки та оброблення поверхні матеріалів. Технології травлення. Технології формування діелектричних і епітаксійних плівок. Авто- і гетероепітаксія. Технології нанесення металічних плівок.	2		4
Тема 3. Шаплони. Фоторезисти: позитивні, негативні. Проекційна оптична літографія. Еліонні методи літографії: електронно-променева, іонно-променева, рентгенівська, UEV.	2		4
Тема 4. Технології формування електронно-діркових переходів.	2		4

Легуючі домішки і джерела дифузії Дифузія. Розподіл домішок. Іонна імплантація. Гетерування. Дефекти імплантації. Відпал.			
Тема 5. Матеріали наноелектроніки. Самоорганізовані нанорозмірні структури. Нанокристалічний кремній та його композити. Пористі наноматеріали. Вуглецеві нанотрубки. Графенові нанострічки.	2		4
Тема 6. Нанотехнології. Методи дослідження наноструктур та наноматеріалів. Електронні та іонні методи аналізу матеріалів. Електронна мікроскопія. Скануюча зондова мікроскопія.	2		4
Тема 7. Газофазна епітаксія квантових шарів з металоорганічних сполук (МОС). Технологія МОС гідридної епітаксії. Кристалізація і легування в процесі МОС гідридної епітаксії.	2		4
Тема 8. Молекулярно-променева епітаксія квантових шарів. Нарощення плівок. Легування і контроль параметрів плівок.	2		4
Тема 9. Технології отримання квантових точок і квантових ниток. Літографічні методи. Використання профільованих поверхонь. Використання методів колоїдної хімії. Зондові нанотехнології.	2		4
Тема 10. Нанорозмірні транзистори. Проблеми масштабування КМОН-технологій. Польові транзистори на вуглецевих нанотрубках. Польові транзистори на графенових нанострічках. Резонансно-тунельні транзистори. Гетеротранзистори на тунельних точках.	2		4
Лабораторна робота №1. Дослідження і моделювання процесів термічного окислення кремнію.		2	4
Лабораторна робота №2. Дослідження і моделювання процесів		2	4

дифузії.			
Лабораторна робота №3. Дослідження і моделювання процесів імплантації.		2	4
Лабораторна робота №4. Моделювання GaAs квантової ями з AlGaAs бар'єром.		2	4
Лабораторна робота №5. 2D моделювання субмікронного МОН-транзистора.		2	4
Разом:	20	10	60

6. Система оцінювання навчальної дисципліни

Загальна система оцінювання курсу	<p><i>Поточний контроль</i> здійснюється під час проведення лекційних, лабораторних, індивідуальних занять і має на меті перевірку знань аспірантів з окремих тем навчальної дисципліни та рівня їх підготовленості до виконання конкретної роботи. Оцінки у національній шкалі («відмінно» - 5, «добре» - 4, «задовільно» - 3, «незадовільно» - 2), отримані аспірантами, виставляються у журналах обліку відвідування та успішності курсу аспірантів зі спеціальності 171 Електроніка.</p> <p>Завданням поточного контролю є перевірка розуміння та засвоєння певного матеріалу (теми), вироблення навичок проведення дослідницьких робіт з інтегральної елементної бази КМОН ІС з використанням САПР, вміння вирішувати конкретні ситуативні завдання, приймати рішення щодо подальших досліджень на основі отриманих результатів.</p> <p><i>Підсумковий контроль у другому семестрі</i> проводиться у формі екзамену.</p> <p><i>Екзамен</i> – форма підсумкового контролю, яка передбачає перевірку розуміння аспірантом теоретичного та практичного програмного матеріалу з предмету “Суб- і нанометрові технології ВІС”, здатності творчо використовувати здобуті знання та вміння, формувати власне ставлення до певної проблеми тощо.</p>		
	Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
			Для екзамену
			Для заліку
	90 – 100	A	відмінно
	80 – 89	B	зараховано
	70 – 79	C	
	60 – 69	D	
	50 – 59	E	задовільно
	26 – 49	FX	не зараховано з можливістю

			повторного складання	повторного складання
	0-25	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни
Вимоги до письмової роботи	Підсумкова робота може виконуватися за необхідності згідно розкладу контролю самостійної роботи (КСР) у формі тестових завдань з вибором правильної відповіді з застосуванням технічних засобів навчання. Кількість тестових завдань – 20. Вартість кожного запитання складає 1 бал. Максимальна оцінка 20 балів.			
Практичні/лабораторні заняття	<p>Після узагальнення (вступного слова) викладач дає відповіді на окремі теоретичні запитання, які виникли у аспірантів у процесі підготовки до заняття.</p> <p>До початку лабораторної роботи аспірант має отримати допуск за результатами усної співбесіди. На лабораторній роботі кожен аспірант отримує інструкцію до виконання. Після завершення роботи аспірант оформляє і захищає звіт з результатами роботи. Кожна лабораторна робота оцінюється за національною шкалою (відмінно добре задовільно незадовільно), середня оцінка за всі лабораторні роботи приводиться до 100 бальної шкали. Максимальний бал за лабораторні роботи 30 балів.</p>			
Умови допуску до підсумкового контролю	<p>Аспірант допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він набрав сумарно 25 балів і вище.</p> <p>Аспірант не допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він набрав менше 25 балів. У цьому випадку аспіранту у відомості робиться запис "не допущений" і виставляється набрана кількість балів. Допускається, як виняток, з дозволу завідувача аспірантури за заявою, погодженою з відповідною кафедрою, одноразове виконання аспірантом додаткових видів робіт з навчальної дисципліни (відпрацювання пропущених занять, виконання індивідуальних завдань тощо) для підвищення оцінок.</p> <p>Напередодні екзамену викладач подає доповідну завідувачу аспірантури про недопуск аспірантів курсу спеціальності 171 "Електроніка". Відмітка про недопуск у відомості робиться при наявності розпорядження завідувача аспірантури.</p>			
Підсумковий контроль	<p>Форму контролю – екзамен; форму задачі – комбінована (письмова з усною співбесідою), можливе також проведення екзамену в тестовій формі з використанням технічних засобів навчання;</p> <p>Білет складається з трьох теоретичних питань і одного короткого завдання. Розподіл балів за питаннями і завданнями рівномірний. Максимальний бал за екзамен 50 балів.</p>			

7. Політика навчальної дисципліни

Аспірант зобов'язаний відвідувати заняття відповідно до встановленого розкладу, не запізнюватися, мати відповідний зовнішній вигляд. У разі відсутності через хворобу надається відповідна довідка.

Пропущена лекція відпрацьовується аспірантом самостійно, як короткий конспект за темою заняття.

Пропущена лабораторна робота виконується аспірантом самостійно вдома або в комп'ютерній лабораторії кафедри, результати оцінюються викладачем.

У випадку, коли аспірант приймав участь у програмі мобільності, можливе врахування отриманих оцінок в іншому навчальному закладі за умови відповідності навчальних планів або наявних сертифікатів.

Політика академічної поведінки і етики

Студент повинен бути толерантним і поважати думку інших.

Заперечення повинні формулюватися тільки в коректній формі.

Плагіат та академічна недоброчесність несумісні з принципами діяльності ЗВО.

Не допускається підказування та списування під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного чи підсумкового контролю.

Не допускається користування телефонами та будь-якими іншими допоміжними засобами під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного, чи підсумкового контролю.

Також є можливість перезарахування результатів навчання в інших закладах вищої освіти чи результатів неформальної освіти згідно Положення про визнання результатів навчання, здобутих шляхом неформальної освіти, в Прикарпатському національному університеті імені Василя Стефаника (затверджено вченою радою університету 01 листопада 2022 р. протокол № 9 та введено в дію наказом ректора № 672 від 24 листопада 2022 р.).

8. Рекомендована література

1. Стребезев В.М., Юрійчук І.М. Основи субмікронної та нанотехнології: навч. посібник. Ч.1-Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, 2021. – 120с.
2. Зайцев Р.В., Дроздов А.М., Зайцева Л.В., Хрипунов Г.С. Технологічні основи електроніки. Ч.1 – Харків: НТУ «ХП», 2021. – 64 с.
3. «Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки»: [Електронний ресурс]: підручник для аспірантів спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», та освітньо-наукової програми «Мікро- та наносистемна техніка» / В.О. Москалюк, В.І.Тимофєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 22,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. –164 с. Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41067/1/Modeluvannia_pryladiv.pdf
4. Павлов С.М. Технологія мікроелектронних засобів: навчальний посібник. / С. М. Павлов, О. В. Войцеховська. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 169 с.
5. Основи наноелектроніки. У 2 кн. Кн. 2, ч. 1. Матеріали і наноелектронні технології [Електронний ресурс] : підручник / Ю. І. Якименко, Д. М. Заячук, В. М. Співак, А. Т. Орлов [та ін.] ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,39

Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 343 с. – Назва з екрана. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/18294>.

6. Поплавко Ю.М., Борисов О. В., Якименко Ю. І. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.

7. Бурик І. П. Технологічні основи виготовлення елементів напівпровідникових інтегральних мікросхем – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 65 с.

8. Новосядлий С.П. Фізико-технологічні основи субмікронної технології великих інтегральних схем - І.Франківськ, м. НВ. – 2010. - 254с.

9. Готра З.Ю. Технологія електронної техніки: навч. посібник. Т.1. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010.- 888 с.

10. Перелік САПР для моделювання технологій і пристроїв мікро- та наноелектроніки. Режим доступу: <https://tcadcentral.com/Software.html#online-tcad-software>

Викладач – доцент Голота В.І.