

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

Фізико-технічний факультет

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Мікроелектронні сенсори фізичних величин**

Освітня програма Комп'ютерне проектування інтегральних схем

Спеціальність 171 Електроніка

Галузь знань 17 Електроніка та комунікації

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 1 від “30” серпня 2021 р.

м. Івано-Франківськ - 2021

## ЗМІСТ

1. Загальна інформація
2. Анотація до курсу
3. Мета та цілі курсу
4. Компетентності
5. Організація навчання курсу
6. Система оцінювання курсу
7. Політика курсу
8. Рекомендована література

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	Мікроелектронні сенсори фізичних величин
<b>Рівень вищої освіти</b>	Перший рівень вищої освіти
<b>Викладач (-і)</b>	доцент, доктор фізико-математичних наук Мандзюк Володимир Ігорович
<b>Контактний телефон викладача</b>	0342596007
<b>Е-mail викладача</b>	<a href="mailto:volodymyr.mandzyuk@pnu.edu.ua">volodymyr.mandzyuk@pnu.edu.ua</a>
<b>Формат дисципліни</b>	Семестровий
<b>Обсяг дисципліни</b>	9 кредитів
<b>Посилання на сайт дистанційного навчання</b>	<a href="http://www.d-learn.pu.if.ua/">http://www.d-learn.pu.if.ua/</a>
<b>Консультації</b>	відповідно до графіку індивідуальних консультацій
<b>2. Анотація до курсу</b>	
<p>Дисципліна “Мікроелектронні сенсори фізичних величин” належить до переліку вибіркових навчальних дисциплін за освітнім рівнем “бакалавр”, що пропонуються в рамках циклу загальної підготовки студентів за освітньою програмою “Комп’ютерне проектування інтегральних схем” спеціальності 171 “Електроніка” на четвертому році навчання. Вона забезпечує формування у студентів науково-дослідницьких професійно-орієнтованих компетенцій. Предметом вивчення навчальної дисципліни є фізичні принципи роботи мікроелектронних сенсорів.</p> <p>Силабус навчальної дисципліни “Мікроелектронні сенсори фізичних величин” складений відповідно до освітньо-професійної програми “Комп’ютерне проектування інтегральних схем” підготовки бакалавра спеціальності 171 “Електроніка”.</p>	
<b>3. Мета та цілі курсу</b>	
<p><b>Метою</b> вивчення навчальної дисципліни “Мікроелектронні сенсори фізичних величин” є засвоєння фізичних основ роботи та методик побудови мікроелектронних сенсорів, формування у студентів практичних навичок розрахунку параметрів і характеристик сенсорів.</p> <p>Основними <b>завданнями</b> дисципліни є:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– поглиблення рівня знань у галузі вимірювальної техніки та метрології;</li> <li>– формування навичок розробки та конструювання первинних перетворювачів інформації та мікроелектронних сенсорів;</li> <li>– визначення особливостей умов вимірювання та експлуатації мікроелектронних сенсорів і первинних перетворювачів інформації.</li> </ul> <p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен <b>знати:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– фізичні явища, які лежать в основі роботи мікроелектронних сенсорів;</li> <li>– основні співвідношення для розрахунку параметрів мікроелектронних сенсорів;</li> <li>– технологічні основи процесів виготовлення мікроелектронних сенсорів та їх основні параметри;</li> <li>– види акустичних коливань та матеріали, що використовуються в оптоелектроніці;</li> <li>– принцип дії електромеханічних та п’єзоелектричних пристроїв;</li> <li>– фізичні основи сенсорів на поверхневих акустичних хвилях;</li> <li>– особливості будови та принцип дії напівпровідникових сенсорів температури та сенсорів хімічного складу газу;</li> <li>– термоелектричні явища та перетворювачі на їх основі;</li> <li>– магнітні властивості твердих тіл та гальваномагнітні ефекти в твердих тілах;</li> <li>– особливості будови та принцип дії мікроелектронних сенсорів вологості та тензосенсорів.</li> </ul>	

- вміти:**
- дослідити та визначити функцію перетворення і рівняння чутливості мікроелектронних сенсорів температури, тиску, оптичного випромінювання, магнітного поля, газу, вологості;
  - розрахувати повний опір мікроелектронних сенсорів і перетворювачів інформації, визначити активну і реактивну складову повного опору;
  - пояснювати принцип дії сенсорів на основі акустичних явищ та особливості їх використання для вимірювання різних фізичних величин;;
  - визначати основні характеристики та параметри термісторів прямого та непрямого підігрівів;
  - пояснювати принцип дії сенсорів хімічного складу газу;
  - пояснювати механізми виникнення термоелектричних явищ, принцип дії термопар, їх конструкції та технологію виготовлення.

**4. Компетентності**

**Спеціальні.**

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

*Додаткові компетентності.*

Здатність розробляти мікроелектронні сенсори фізичних величин.

**5. Результати навчання**

Р4. Оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, розуміти основи твердотільної електроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схмотехніки, перетворювальної та мікропроцесорної техніки.

**6. Організація навчання курсу**

Обсяг курсу

Вид заняття	Загальна кількість годин
лекції	44
семінарські заняття / практичні / лабораторні	46
самостійна робота	180

Ознаки курсу

Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний/ вибірковий
I	171 Електроніка	IV	Вибірковий

Тематика курсу

Тема, план	Форма заняття	Літера- тура	Завдання, год	Вага оцінки	Термін виконання
------------	------------------	-----------------	------------------	----------------	---------------------

**Змістовий модуль 1. Технологічні основи мікроелектронних сенсорів фізичних величин та їх основні характеристики**

Тема 1. Загальна схема технологічного процесу виготовлення мікроелектронних сенсорів. Методи одержання тонких плівок. Основи літографічних процесів. Технологія виготовлення елементів товстоплівкових сенсорів.	лекція	[1-21]	4	2	Згідно розкладу
Тема 2. Дифузія в напівпровідниках. Технологія епітаксійних шарів. Іонна імплантація. Технологія збирання мікроелектронних сенсорів.	лекція	[1-21]	4	2	Згідно розкладу
Тема 3. Основні поняття та	лекція	[1-21]	2	2	Згідно

визначення характеристик і параметрів сенсорів.					розкладу
Тема 4. Статичні характеристики сенсорів.	лекція	[1-21]	2	2	Згідно розкладу
Тема 5. Динамічні характеристики сенсорів.	лекція	[1-21]	2	2	Згідно розкладу
Тема 6. Корекція характеристик сенсорів фізичних величин. Вплив факторів довкілля на характеристики сенсорів.	лекція	[1-21]	2	2	Згідно розкладу
Модульний контроль			2		Згідно розкладу
<b>Змістовий модуль 2. Мікроелектронні сенсорні фізичних величин</b>					
Тема 7. Напівпровідникові сенсорні температури. Терморезистори. Термістори прямого підігріву. Болметри. Термістори непрямого підігріву. Позистори.	лекція	[1-21]	4	2	Згідно розкладу
Тема 8. Термоелектрика та перетворювачі на її основі. Термоелектричні явища. Ефект Зеебека. Ефект Пельтьє. Принцип дії термопар. Матеріали та параметри термопар.	лекція	[1-21]	4	2	Згідно розкладу
Тема 9. Мікроелектронні сенсорні вологості. Одиниці та методи вимірювання вологості. Плівкові кулонометричні сенсорні вологості. Сенсорні вологості на основі пористих матеріалів. Сенсорні вологості на основі полімерних матеріалів.	лекція	[1-21]	6	2	Згідно розкладу
Тема 10. Напівпровідникові гальваномагнітні сенсорні. Гальваномагнітні ефекти в напівпровідниках. Магнітооптичні ефекти в напівпровідниках. Термомагнітні ефекти в напівпровідниках. Магніторезистори, їх конструкції та параметри.	лекція	[1-21]	6	2	Згідно розкладу
Тема 11. Напівпровідникові інтегральні тензосенсорні. Характеристики тензорезисторів металічного типу. Конструкції інтегральних тензосенсорів. Дротяні та плівкові тензорезистори.	лекція	[1-21]	4	2	Згідно розкладу
Тема 12. Сенсорні хімічного складу газу. Класифікація мікроелектронних сенсорів газу. Напівпровідникові сенсорні газу резистивного типу. Електрохімічні сенсорні газу на основі твердих електролітів. Сенсорні газу на іонноселективних	лекція	[1-21]	4	2	Згідно розкладу

польових транзисторах.					
Модульний контроль			2		Згідно розкладу
<b>Лабораторні заняття</b>					
Лабораторна робота №1. Вступне заняття. Правила техніки безпеки та пожежної безпеки при виконання лабораторних робіт. Обчислення похибок.	Лабораторна робота	[1-21]	2	2	Згідно розкладу
Лабораторна робота №2. Вплив факторів оточуючого середовища на статичні характеристики сенсорів.	Лабораторна робота	[1-21]	4	2	Згідно розкладу
Лабораторна робота №3. Вимірювання температури за допомогою сенсорів та їх градування.	Лабораторна робота	[1-21]	6	2	Згідно розкладу
Лабораторна робота №4. Виготовлення термопар та дослідження їх роботи.	Лабораторна робота	[1-21]	6	2	Згідно розкладу
Лабораторна робота №5. Вивчення сенсорів магнітного поля, побудованих на основі ефекту Холла.	Лабораторна робота	[1-21]	6	2	Згідно розкладу
Лабораторна робота №6. Використання фоточутливих напівпровідників, як сенсорів освітлення.	Лабораторна робота	[1-21]	4	2	Згідно розкладу
Лабораторна робота №7. Дослідження спектральної характеристики напівпровідникового фотосенсора.	Лабораторна робота	[1-21]	4	2	Згідно розкладу
Лабораторна робота №8. Дослідження характеристик частотного оптичного перетворювача.	Лабораторна робота	[1-21]	4	2	Згідно розкладу
Лабораторна робота №9. Дослідження принципу дії п'єзокерамічного сенсора вібрацій.	Лабораторна робота	[1-21]	4	2	Згідно розкладу
Лабораторна робота №10. Іонно-селективні польові транзистори.	Лабораторна робота	[1-21]	6	2	Згідно розкладу
<b>Самостійна робота студентів</b>					
Тема 1. Методи одержання тонких плівок.	Самостійна робота	[1-21]	8	0,4	Впродовж семестру
Тема 2. Технологія виготовлення елементів товстопліткових сенсорів.	Самостійна робота	[1-21]	8	0,4	Впродовж семестру
Тема 3. Технологія епітаксійних шарів. Іонна імплантація.	Самостійна робота	[1-21]	6	0,4	Впродовж семестру

Тема 4. Теорія похибок. Інструментальна, систематична, похибки. Довірчий інтервал. Коефіцієнти Ст'юдента.	Самостійна робота	[1-21]	8	0,3	Впродовж семестру
Тема 5. Передавальна функція сенсора: лінійна, логарифмічна та степенева. Види чутливості перетворювача.	Самостійна робота	[1-21]	8	0,3	Впродовж семестру
Тема 6. Характеристика діапазону перетворення, гістерезису, нелінійності, відтворюваності, надійності та довговічності сенсора.	Самостійна робота	[1-21]	8	0,3	Впродовж семестру
Контроль самостійної роботи			2		Згідно розкладу
Тема 7. Тема 6. Діодні та транзисторні термоперетворювачі. Сенсори температури на зворотній характеристиці $p-n$ – переходів. Сенсори температури на прямій характеристиці $p-n$ – переходів.	Самостійна робота	[1-21]	12	0,4	Впродовж семестру
Тема 8. Конструкції термопар. Технологія виготовлення термопар. Термоелектричні перетворювачі для вимірювання електричних величин. Схеми та похибки вимірювання температури за допомогою термопар.	Самостійна робота	[1-21]	12	0,4	Впродовж семестру
Тема 9. Плівкові напівпровідникові сенсори вологості резистивного та ємнісного типів. Ємнісні плівкові сенсори вологості на основі композиційних матеріалів. Оптичні та оптико – механічні сенсори вологості. Галузі застосування та характеристики сенсорів вологості.	Самостійна робота	[1-21]	12	0,4	Впродовж семестру
Тема 10. Магнітодіоди. Перетворювачі Холла. Магнітотранзистори. Тонкі плівки для візуалізації магнітного поля.	Самостійна робота	[1-21]	14	0,4	Впродовж семестру
Тема 11. Пружна та пластична деформації. Деформаційні властивості кристалічних тіл. Опір тіл до пластичної деформації, дислокаційний механізм текучості. Крихка міцність твердих тіл. Тривала (часова) міцність твердих тіл. Механічні властивості анізотропних матеріалів. П'єзорезистивний ефект і анізотропія п'єзорезистивних коефіцієнтів.	Самостійна робота	[1-21]	14	0,4	Впродовж семестру
Тема 12. Сенсори хімічного складу газу. МДН – транзистори з	Самостійна	[1-21]	14	0,3	Впродовж семестру

прикріпленою мембраною. Діоди, керовані концентрацією іонів.	робота				
Тема 13. Сенсори на основі акустичних явищ. Пасивні пристрої на ПАХ. Активні пристрої на ПАХ. Сенсори сили на ПАХ. Сенсори тиску на ПАХ. Сенсори прискорення на ПАХ. Сенсори температури на ПАХ. Сенсори концентрації газів на ПАХ. Сенсори електричної напруги на ПАХ. Сенсори електрофізичних параметрів на ПАХ.	Самостійна робота	[1-21]	16	0,4	Впродовж семестру
Тема 14. Акустичні явища в твердому тілі та сенсори на їх основі. Види акустичних коливань та матеріали, що використовуються в акустoeлектроніці. Електромеханічні та п'єзоелектричні пристрої. Пристрої на об'ємних акустичних хвилях. Перетворювачі поверхневих акустичних хвиль (ПАХ). Фізичні основи сенсорів на ПАХ. Способи контролю фізичних величин в сенсорах на ПАХ.	Самостійна робота	[1-21]	14	0,4	Впродовж семестру
Тема 15. Принципи функціонування оптоелектронних сенсорів. Волоконно-оптичні сенсори.	Самостійна робота	[1-21]	12	0,4	Впродовж семестру
Тема 16. Рідкокристалічні сенсори. Класифікація рідких кристалів. Теорія деформації рідких кристалів та електрооптичні ефекти в них.	Самостійна робота	[1-21]	14	0,4	Впродовж семестру
Контроль самостійної роботи			2		Згідно розкладу
Підсумковий контроль (екзамен)				50	
<b>7. Система оцінювання курсу</b>					
Загальна система оцінювання курсу	<p><i>Поточний контроль</i> здійснюється під час проведення лекційних, лабораторних та індивідуальних занять і має на меті перевірку знань студентів з окремих тем навчальної дисципліни та рівня їх підготовленості до виконання конкретної роботи. Оцінки у національній шкалі («зараховано», «незараховано»), отримані студентами, виставляються у журналах обліку відвідування та успішності академічної групи.</p> <p><i>Модульний контроль</i> (сума балів за окремих змістовий модуль) проводиться (виставляється) на підставі оцінювання результатів знань студентів після вивчення матеріалу з логічно завершеної частини дисципліни – змістового модуля.</p> <p>Завданням модульного контролю є перевірка розуміння та засвоєння певного матеріалу (теми), вироблення навичок проведення розрахункових робіт,</p>				

		<p>вміння вирішувати конкретні ситуативні задачі, самостійно опрацьовувати тексти, здатності осмислювати зміст даної частини дисципліни, уміння публічно чи письмово подати певний матеріал.</p> <p><i>Семестровий (підсумковий) контроль</i> проводиться у формі <i>екзамену</i>.</p> <p><i>Екзамен</i> – форми підсумкового контролю, які передбачають перевірку розуміння студентом теоретичного та практичного програмного матеріалу з усієї дисципліни, здатності творчо використовувати здобуті знання та вміння, формувати власне ставлення до певної проблеми тощо.</p> <p>Екзамен здійснюється в письмовій формі за підсумковим тестовим завданням, що дає можливість здійснити оцінювання знань студента з усієї дисципліни або у тестовій формі з використанням комп'ютерного автоекзаменатора.</p>	
<b>Шкала оцінювання: національна та ECTS</b>			
Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи)	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
80-89	B	добре	
70-79	C		
60-69	D	задовільно	
50-59	E		
26-49	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю 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 виконується у формі тестових завдань з вибором правильної відповіді. Кількість тестових завдань – 50.	
Лабораторні заняття		<p>Після узагальнення (вступного слова) викладач дає відповіді на окремі теоретичні запитання, які виникли в студентів у процесі підготовки до заняття. Зазвичай з кожної теми лекційного курсу на лабораторні заняття виносять індивідуалізовані теми комплексного характеру, які дають змогу студенту ширше застосувати здобуті знання та підготуватися до самостійного виконання домашнього завдання.</p> <p>Для перевірки рівня засвоєння навчального матеріалу студенти виконують тестові завдання.</p> <p>До початку лабораторної роботи студент має отримати допуск на основі усної співбесіди. На лабораторній роботі кожен студент отримує інструкцію до виконання. Після завершення роботи студент оформляє і захищає звіт з результатами роботи.</p>	
Умови допуску до підсумкового контролю		Студент допускається до підсумкового контролю (екзамену) за наявності виконаних лабораторних	

	<p>завдань, результатів тестування за тематикою лекційних завдань та самостійної роботи.</p> <p>Також є можливість перезарахування результатів навчання в інших закладах вищої освіти чи результатів неформальної освіти згідно Положення про порядок зарахування результатів неформальної освіти у ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника” (затверджено вченою радою університету 27.11.2019 р. протокол № 10 та введено в дію наказом ректора № 819 від 29.11.2019 р.).</p> <p>Студент не допускається до підсумкового контролю, якщо впродовж семестру він набрав менше 50 балів із перерахованих вище категорій занять. У цьому випадку студенту у відомості робиться запис “не допущений” і виставляється набрана кількість балів. Допускається, як виняток, з дозволу декана факультету за заявою, погодженою з відповідною кафедрою, одноразове виконання студентом додаткових видів робіт з навчальної дисципліни (відпрацювання пропущених занять, перескладання змістових модулів, виконання індивідуальних завдань тощо) для підвищення оцінок за змістові модулі.</p>
<p><b>8. Політика курсу</b></p>	
<p>Студент зобов’язаний відвідувати заняття відповідно до встановленого розкладу, не запізнюватися, мати відповідний зовнішній вигляд. У разі відсутності через хворобу надається відповідна довідка.</p> <p>Пропущена лекція відпрацьовується студентом самостійно, як короткий конспект за темою заняття.</p> <p>Пропущене семінарське заняття виконується студентом самостійно вдома, результати оцінюються викладачем.</p> <p>У випадку, коли студент приймав участь у програмі мобільності, можливе врахування отриманих оцінок в іншому навчальному закладі за умови відповідності навчальних планів.</p> <p><b>Політика академічної поведінки та етики</b></p> <p>Студент повинен бути толерантним і поважати думку інших.</p> <p>Заперечення повинні формулюватися тільки в коректній формі.</p> <p>Плагіат та академічна недоброчесність несумісні з принципами діяльності ЗВО.</p> <p>Не допускається підказування та списування під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного чи підсумкового контролю.</p> <p>Не допускається користування телефонами та будь-якими іншими електронними засобами під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного, чи підсумкового контролю.</p>	
<p><b>9. Рекомендована література</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Базова</b></p> <p>1. Елементи теорії мікроелектронних сенсорів / Під ред. Готри З.Ю. – Львів, Ліга-Прес, 2001. 636 с.</p> <p>2. В. Вуйцік, З.Ю. Готра, В.В. Григор’єв та ін. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: науково – навчальне видання. В 3 томах. / Під ред. Готри З.Ю. – Львів, Ліга-Прес, 2002.</p> <p>3. І.Д. Войтович, В.М. Корсунський. Інтелектуальні сенсори. – К.: Редакційно-видавничий відділ Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2007.</p> <p>4. Б.І. Карпінєць. Електроніка та мікропроцесорна техніка. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016.</p>	

5. М.М. Погребняк, В.П. Прищепа. Мікроелектроніка: ч. 1. – К.: Вища школа, 2004. – 431 с.
6. С.П. Новосядлий. Суб - і наномікронна технологія структур великих інтегральних схем: монографія. – Івано-Франківськ: Місто-НВ, 2010. – 456 с.
7. Л. Ткачук, Р. Закалик. Основи мікроелектроніки. – Тернопіль: Медап, 1998. – 350 с.
8. С.П. Новосядлий. Фізико-технологічні основи субмікронної технології великих інтегральних схем. – Івано-Франківськ: Сімик, 2003. – 352 с.
9. В.І. Мандзюк, І.Т. Когут. Фізико-технологічні основи мікросистемної техніки. – Івано-Франківськ: Нова зоря, 2008. – 154 с.
10. М.Г. Находкін, Д. І. Шека. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки: підручник. Рек. МОН. – К.: Київський ун-т, 2005. – 431 с.
11. А.О. Дружинін. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: навчальний посібник. – Львів: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 332 с.
12. П.Г. Стахів. Основи мікроелектроніки: функціональні елементи їх застосування: підручник. – Львів: 2003 – 208 с.
13. А.А. Щука. Електроніка. Учебное пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
14. Степаненко И.П. Основи мікроелектроніки. – М: Советское радио, 1980.
15. В.А. Скаржена, А.Н. Луценко. Електроніка и мікроелектроніка. Часть 1. – К.: Вища школа, 1991.
16. Технология интегральной электроники: учебное пособие / Л.П. Ануфриев, С.В. Бордусов, Л.И. Гурский и др. / Под общ. ред. А.П. Достанко и Л.И. Гурского. – Минск: Интегралполиграф, 2009. – 379 с.

#### Додаткова

17. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Сенсори тиску і магнітного поля. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 207 с.
18. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В. Сенсори вологості. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 208 с.
19. И.П. Степаненко. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перер. и доп. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 488 с.
20. Т.И. Данилина, К.И. Смирнова. Технологические процессы микроэлектроники: Технология ЭВС – 1: Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2005. – 223 с.
21. М.Ф. Жаркой. Технологические основы производства полупроводниковых интегральных схем: учебное пособие. – СПб.: Балтийский гос. тех. ун-ет, 2016. – 123 с.

Викладач \_\_\_\_\_

