

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Загальна інформація про навчальну дисципліну

Повна назва навчальної дисципліни	Мікроелектромеханічні системи
Повна офіційна назва закладу вищої освіти	Сумський державний університет
Повна назва структурного підрозділу	Факультет електроніки та інформаційних технологій. Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики
Розробник(и)	Пазуха Ірина Михайлівна
Рівень вищої освіти	Другий рівень вищої освіти, НРК – 7 рівень, QF-LLL – 7 рівень, FQ-EHEA – другий цикл
Тривалість вивчення навчальної дисципліни	один семестр
Обсяг навчальної дисципліни	Обсяг становить 5 кред. ЄКТС, 150 год. Для денної форми навчання 44 год. становить контактна робота з викладачем (24 год. лекцій, 20 год. практичних занять), 106 год. становить самостійна робота.
Мова викладання	Українська

2. Місце навчальної дисципліни в освітній програмі

Статус дисципліни	Обов'язкова навчальна дисципліна для освітньої програми "Електронні інформаційні системи"
Передумови для вивчення дисципліни	Програмування систем збору і аналізу даних, Інтегральна і функціональна мікроелектроніка, Наноматеріали для електронних та інформаційних систем
Додаткові умови	відсутні
Обмеження	відсутні

3. Мета навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є формування у здобувачів глибоких знань щодо сучасні науково-технологічних досягнень щодо розробки мікроелектромеханічних систем, підходи до виготовлення та бідбору компонентів мікросистемної техніки з урахуванням фізичних принципів їх функціонування, характеристик, конструкції та особливості застосування.

4. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1 Класифікація, основні характеристики, методи та технології виробництва мікроелектромеханічних систем мікроелектромеханічних мікросистем (MEMS)

Структурні елементи мікромеханічних систем: пристрої перетворення неелектричної інформації в електричні сигнали (сенсори); мікропроцесорні системи обробки отриманої інформації; виконуючі пристрої (актюатори). Фізичні основи роботи пристроїв мікромеханічних систем. Базові матеріали для мікромеханічних систем. Базові технології мікроелектроніки, що застосовуються для виготовлення МЕМС. Технології виготовлення об'ємних структур МЕМС. Технології корпусування мікромеханічних систем.

Тема 2 Мікроелектронні сенсори фізичних величин, мікромеханізми та мікроприводи

Нові покоління МЕМС-датчиків фізичних величин, на основі сучасних досягнень мікроелектроніки, інтегрального мікрооброблення та мікроскладання об'ємних кремнієвих структур мікронних розмірів: датчики тиску, мікровитратоміри, датчики температури, електроакустичні мікромеханічні датчики, датчики магнітного поля, мікроелектромеханічні акселерометри, мікромеханічні гіроскопи. Технічні рішення з побудови чутливих елементів датчиків фізичних величин

5. Очікувані результати навчання навчальної дисципліни

Після успішного вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти зможе:

PH1	Аналізувати особливості функціонування та визначати напрямки можливої модернізації компонентів мікроелектромеханічних систем
PH2	Оцінювати ефективність застосування сенсорів, як складової компоненти мікроелектромеханічної системи, на основі аналізу їх статичних та динамічних характеристик
PH3	Здійснювати порівняння характеристик компонентів мікросистемної техніки і визначати область їх раціонального застосування

6. Роль навчальної дисципліни у досягненні програмних результатів

Програмні результати навчання, досягнення яких забезпечує навчальна дисципліна.

Для спеціальності 171 Електроніка:

PR2	Моделювати та експериментально досліджувати об'єкти та процеси в електроніці та технології електронної промисловості
PR5	Забезпечувати енергетичну та економічну ефективність розробок, виробництва та експлуатації електронної техніки.
PR12	Узагальнювати сучасні наукові знання в галузі електроніки та застосовувати їх для розв'язання складних науково-технічних задач, доведення отриманих рішень до рівня конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах.
PR14	Досліджувати електронні процеси та властивості функціональних нанорозмірних матеріалів мікро- і сенсорної електроніки з використанням сучасних програмних засобів моделювання та автоматизації розрахунків, проведення наукових експериментів з комп'ютерною обробкою і аналізом даних.

ПР15	Проектувати, оцінювати, налагоджувати та впроваджувати у виробництво електронні, сенсорні, волоконно-оптичні прилади і системи та програмне забезпечення для них з урахуванням вимог надійності, економічності, екологічності та енергозбереження
------	---

7. Роль освітнього компонента у формуванні соціальних навичок

Компетентності та соціальні навички, формування яких забезпечує навчальна дисципліна:

СН1	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
СН4	Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні
СН5	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

8. Види навчальних занять

Тема 1. Класифікація, основні характеристики, методи та технології виробництва мікроелектромеханічних систем мікроелектромеханічних мікросистем (MEMS)	
Лк1 "Структурні елементи мікроелектронних систем" (денна)	Загальні підходи до створення мініатюрних чутливих, виконавчих й енергозабезпечувальних систем, які інтегруються на мікрорівні в конструктивні рішення, в основу функціонування яких покладено використання класичних принципів механіки, оптики, акустики, теплотехніки тощо. Галузі застосування МЕМС пристроїв. Класифікація мікроелектромеханічних систем за фізичним принципом їх дії. Опис загальної структури вбудованої системи, що включає в себе наступні функціональні модулі: виконавчий механізм; сенсор; керований механізм; пристрої передавання енергії.
Лк2 "Основні характеристики мікроелектронних сенсорів" (денна)	Основні поняття та визначення. Статичні характеристики сенсорів. Динамічні характеристики сенсорів.
Лк3 "Базові матеріали для мікроелектронних систем" (денна)	Кремній. Двооксид кремнію. Кремній на ізоляторі. Нітрид і карбід кремнію. Інші матеріали. Матеріали, що використовуються у виробництві корпусів МЕМС. Підходи до вибору електронної продукції для спрямовані на забезпечення якості продукції та її екологічної безпеки протягом всього терміну експлуатації, а також на екологічну безпеку її утилізації після закінчення терміну експлуатації.
Лк4 "Базові технології мікроелектроніки, що застосовуються для виготовлення МЕМС" (денна)	Основні особливості технологій виготовлення МЕМС: мініатюризація, множинність, мікроелектроніка. Спрощена схема виготовлення будь-якого МЕМС пристрою. Основні технологічні операції виготовлення МЕМС: виробництво підкладок; мікрооброблення; складання та корпусування.

<p>Лк5 "Технології виготовлення об'ємних структур МЕМС" (денна)</p> <p>Об'ємне мікрооброблення, що реалізовує субтрактивний підхід при виготовленні об'ємних структур МЕМС. LIGA технологія, яка заснована на послідовності процесів літографії, гальваноосадження і мікроформування. Поверхневе мікрооброблення, що реалізовує адитивний підхід при виготовленні об'ємних структур МЕМС.</p>
<p>Пр1 "Вплив факторів оточуючого середовища на статичні характеристики сенсорів" (денна)</p> <p>Мета роботи - встановити залежність робочих характеристик сенсора від впливу факторів довкілля (температури, магнітного поля).</p>
<p>Пр2 "Вивчення закономірностей розповсюдження акустичних хвиль у п'єзоелектриках, та їх практичне використання" (денна)</p> <p>Мета роботи – дослідження температурної залежності робочої частоти кварцового резонатора та освоєння методики використання кварцового генератора у якості сенсора товщини тонкоплівкових зразків.</p>
<p>Тема 2. Мікроелектронні сенсори фізичних величин, мікромеханізми та мікроприводи</p>
<p>Лк6 "Мікроелектронні сенсори тиску та електроакустичні мікромеханічні сенсори" (денна)</p> <p>Тензо- і п'єзорезистивні мікроелектронні сенсори тиску. Ємнісні мікроелектронні сенсори. Резонансні мікроелектронні сенсори тиску. Індуктивні мікроелектронні сенсори тиску. МЕМС-мікрофони. Ультразвукові мікроелектронні сенсори відстані</p>
<p>Лк7 "Мікровитратоміри" (денна)</p> <p>Термоанемометричний МЕМС-витратомір. Калориметричний МЕМС-витратомір</p>
<p>Лк8 "Мікроелектронні сенсори температури та магнітного поля" (денна)</p> <p>Пристрої на основі термоелектрики. Терморезистивні мікроелектронні сенсори температури. Напівпровідникові мікроелектронні сенсори температури. Безконтактні вимірники температури. Мікроелектронні сенсори Холла. Магніторезистивні мікроелектронні сенсори. МЕМС-компаси</p>
<p>Лк9 "Мікроелектромеханічні акселерометри та гіроскопи" (денна)</p> <p>Ємнісні МЕМС-акселерометри. П'єзоелектричні МЕМС-акселерометри. П'єзорезистивні МЕМС-акселерометри. Інші варіанти побудови МЕМС-акселерометрів. Вібраційні гіроскопи: балкові та стрижневі гіроскопи, гіроскопи-камертони, гіроскопи з диском-вібратором, обертальні вібраційні мікрогіроскопи RR-типу. Інерціальні вимірювальні модулі.</p>
<p>Лк10 "Актюаторні елементи МЕМС" (денна)</p> <p>Фізичні основи роботи мікроактюаторів. Конструктивні особливості та принципи роботи електростатичних, магнітних, п'єзоелектричних та теплових (біметалевих) актюаторів</p>

<p>Лк11 "Мікродвигуни та механічні приводи" (денна)</p> <p>Принципи роботи та конструктивні особливості двигунів малих розмірів і потужності, що виконують функції автономного або керованого руху шляхом перетворення будь-якого виду енергії в роботу. Будуть розглянуті п'єзоелектричні, електростатичні та електромагнітні мікродвигуни. Застосування принципу перетворення крутного моменту в мікромеханічних системах з метою зниження вимог до потужності двигуна або до джерела живлення МЕМС-двигуна.</p>
<p>Лк12 "Технологічні мікросхеми" (денна)</p> <p>Немеханічні мікронасоси (що не містять рухомих мікромеханічних частин) на основі електрогідродинамічного, електроосмотичного і ультразвукового ефектів. Механічні мікронасоси, які містять рухомі мікромеханічні частини з активними та пасивними клапанами. Мікромеханічні ключі та комутатори. Мікродзеркала. Мікроінструменти та пристрої</p>
<p>Пр3 "Використання напівпровідникових мікроприладів як сенсорів освітлення" (денна)</p> <p>Вивчення принципу роботи напівпровідникових мікроелектронних приладів (фотодіода і фоторезистора) як сенсорів освітлення.</p>
<p>Пр4 "Використання напівпровідникових мікроприладів як сенсорів освітлення" (денна)</p> <p>Дослідження залежностей робочих характеристик приладів від інтенсивності світла і визначення чутливості сенсорів.</p>
<p>Пр5 "Тонкоплівковий сенсор температури" (денна)</p> <p>Мета роботи – одержати тонкоплівковий сенсор температури (термопару), провести градуювати отриманого плівковий сенсора-термопари та визначення його чутливості.</p>
<p>Пр6 "Визначення робочих характеристик MEMS-датчиків звуку" (денна)</p> <p>Мета роботи – вивчення конструкції MEMS-мікрофонів. Дослідження залежності інтенсивності сигналу (I) МЕМС-датчика звуку від відстані до джерела звуку та кута під яким спрямовується сигнал.</p>
<p>Пр7 "Визначення робочих характеристик MEMS-датчиків звуку" (денна)</p> <p>Мета роботи - вивчення впливу частоти генератора звуку на SNR (сигнал/шум) характеристики MEMS-датчиків звуку</p>
<p>Пр8 "Використання перетворювача Холла як сенсора магнітного поля" (денна)</p> <p>Мета роботи – вивчення конструкції перетворювачів Холла і вимірювання магнітних полів за їх допомогою.</p>
<p>Пр9 "Вивчення принципу роботи та визначення характеристик MEMS-акселерометрів" (денна)</p> <p>Мета роботи – вивчити конструкцію та принцип роботи MEMS-акселерометрів та визначити їх робочі характеристики.</p>

Пр10 "Вивчення принципу роботи та визначення характеристик MEMS-гіроскопів" (денна)

Мета роботи – вивчити конструкцію та принцип роботи MEMS-гіроскопів, пристроїв, що здатні реагувати на зміну кутів орієнтації тіла відносно інерційної системи відліку, та визначити їх робочі характеристики

9. Стратегія викладання та навчання

9.1 Методи викладання та навчання

Дисципліна передбачає навчання через:

МН1	Лекційне навчання
МН2	Навчання на основі досліджень (RBL)
МН3	Електронне навчання

Лекції надають здобувачам матеріали з сучасні науково-технологічних досягнень в галузі розробки МЕМС-технологій, що є основою для самостійного навчання здобувачів вищої освіти (РН 1 - РН 4). Лекції доповнюються практичними заняттями, де використовується контексте навчання, що надає студентам можливість застосовувати теоретичні знання на практиці (РН 1, РН 2). Самостійному навчанню сприятиме підготовка до лекцій та практичних занять, що дозволить здобувачам освіти досягти навичок критичного мислення спостереження, аналізу та синтезу (РН 1 - РН 4).

Навички комунікації, висловлювати власну думку та ставити питання, лідерство, вміння працювати в команді, управляти своїм часом, розуміння важливості дедлайнів, здатність логічно і системно мислити, креативність

9.2 Види навчальної діяльності

НД1	Інтерактивні лекції
НД2	Підготовка до виконання та виконання завдань на практичному занятті
НД3	Підготовка до поточного та підсумкового контролю

10. Методи та критерії оцінювання

10.1. Критерії оцінювання

Визначення	Чотирибальна національна шкала оцінювання	Рейтингова бальна шкала оцінювання
Відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	5 (відмінно)	$90 \leq RD \leq 100$
Вище середнього рівня з кількома помилками	4 (добре)	$82 \leq RD < 89$
Загалом правильна робота з певною кількістю помилок	4 (добре)	$74 \leq RD < 81$
Непогано, але зі значною кількістю недоліків	3 (задовільно)	$64 \leq RD < 73$

Виконання задовольняє мінімальним критеріям	3 (задовільно)	$60 \leq RD < 63$
Можливе повторне складання	2 (незадовільно)	$21 \leq RD < 59$
Можливе одноразове повторне складання	2 (незадовільно)	$0 \leq RD < 20$

10.2 Методи поточного формативного оцінювання

	Характеристика	Дедлайн, тижні	Зворотний зв'язок
МФО1 Діагностичне тестування, тести з теорії на лекціях за допомогою платформи MIX	Спрямоване на проміжне оцінювання рівня засвоєння теоретичного матеріалу, прослуханого на лекційному занятті. Проводиться на початку наступної лекції. Результати виконання тестових завдань обговорюються після завершення виконання завдання.	згідно графіку навчального процесу	MIX, Telegram
МФО2 Настанови викладача в процесі виконання практичних завдань	Надати рекомендації щодо підходів та основних фізичних законів, що мають бути застосовані при виконанні завдань, пов'язаних з вивченням їх конструкції, принципів роботи та аналізом їх робочих характеристик	під час практичного заняття	Google meet
МФО3 Обговорення та самокорекція виконаної роботи студентами	Обговорення результатів отриманих на практичних заняття щодо робочих характеристик МЕМС-сенсорів різних типів у залежності від дії факторів зовнішнього середовища, аналіз допущених помилок та самокорекція	під час практичного заняття	Google meet

10.3 Методи підсумкового сумативного оцінювання

	Характеристика	Дедлайн, тижні	Зворотний зв'язок
МСО1 Звіт за результатами виконання практичних робіт	Оцінюється звіт за результатами виконання практичних робіт.	1 тиждень після виконання практичної роботи згідно розкладу	MIX
МСО2 Проміжний модульний контроль у формі тестових завдань	Оцінка теоретичних знань, отриманих під час лекційних занять та самостійного опрацювання матеріалу, щодо технологічних особливостей, принципів роботи та галузей застосування мікроелектромеханічних систем	на 8 му тижні, згідно графіку навчального процесу	MIX

МСО3 Підсумковий контроль: екзамен	Оцінка отриманих під вивчення курсу знань щодо мікроелектромеханічних системи	згідно графіку навчального процесу	MIX, Google meet
--	---	------------------------------------	------------------

Контрольні заходи:

		Максимальна кількість балів	Можливість перескладання з метою підвищення оцінки
Перший семестр вивчення		100 балів	
МСО1. Звіт за результатами виконання практичних робіт		40	
	10x4	40	Так
МСО2. Проміжний модульний контроль у формі тестових завдань		20	
		20	Ні
МСО3. Підсумковий контроль: екзамен		40	
		40	Ні

Оцінювання здійснюється згідно завдань та балів, передбачених силабусом по дисципліні та включає в себе такі контрольні заходи : звіти за результатами виконання практичних робіт - 40 балів, написання проміжного контролю у формі тестових завдань - 20 балів, складання підсумкового контролю (екзамен) - 40 балів. Всього за результатами сумативного оцінювання студент може набрати 100 балів. Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни за всіма видами робіт підсумковий бал не може бути менше 60 балів. Якщо отримана сума балів відповідає позитивній оцінці, вона є підсумковою, перескладання позитивної підсумкової оцінки з метою підвищення не здійснюється. Ліквідація академічної заборгованості здійснюється шляхом повторного складання семестрового контрольного заходу. Отримання допуску при цьому не передбачається.

11. Ресурсне забезпечення навчальної дисципліни

11.1 Засоби навчання

ЗН1	Інформаційно-комунікаційні системи
ЗН2	Стенди для визначення факторів оточуючого середовища на характеристики сенсорів, вивчення властивостей напівпровідникових сенсорів освітлення, вивчення характеристик перетворювачів Холла
ЗН3	Прилади: частотоміри, мультиметри APPA105, UNI-T; смартфон, ноутбук
ЗН4	Програмне забезпечення для підтримки дистанційного навчання

11.2 Інформаційне та навчально-методичне забезпечення

Основна література

1	Філяшкін М.К. Мікроелектромеханічні системи: Навчальний посібник – К.: НАУ, 2019. – 276 с
2	Методичні вказівки до лабораторних робіт із курсу «Мікроелектронні сенсори» / укладачі: І. М. Пазуха, А. О. Степаненко. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 42 с.
Допоміжна література	
1	Лобур М., Мельник М. Основи мікропроцесорних пристроїв: навчальний посібник, 2016 р. - 258 с. №530785-TEMPUS-1-2012-1-PL-TEMPUS-JPCR
2	Tanvir Singh, Microelectromechanical System // Technical Report. - 2020. - 22 p.
3	Олексенко Л.П., Максимович Н.П., Матушко І.П., Федоренко Г.В. Газові сенсори та застосування наноматеріалів у сенсориці: навчальний посібник. - К.: ВПЦ "Київський університет", 2019. - 143 с.
4	Saeed S Ba Hashwan, Mohd Haris Md Khir, Illani Mohd Nawī et all. A review of piezoelectric MEMS sensors and actuators for gas detection application // Discov. Nano. - 2023. - V. 27, No 18(1). - P. 25.
5	Advanced Mechatronics and MEMS Devices II, ed. by Dan Zhang, Bin Wei. - Springer, 2017. - 719 p.
Інформаційні ресурси в Інтернеті	
1	Електронні навчальні матеріали https://mix.sumdu.edu.ua/info/nmk/1984d7d7-e4aa-493d-bfaa-dfd809e0dc01

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

№ з/п	Програма навчальної дисципліни	Усього годин	Навчальна робота, аудиторних годин				Самостійна робота здобувача вищої освіти за видами, годин					
			Усього, ауд. год.	Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	Усього, год.	Самостійне опрацювання матеріалу	Підготовка до практичних занять	Підготовка до лабораторних робіт	Підготовка до контрольних заходів	Виконання самостійних позааудиторних завдань
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
денна форма навчання												
1	Класифікація, основні характеристики, методи та технології виробництва мікроелектромеханічних систем мікроелектромеханічних мікросистем (MEMS)	17.5	14	10	4	0	3.5	2.5	1	0	0	0
2	Мікроелектронні сенсори фізичних величин, мікромеханізми та мікроприводи	37.5	30	14	16	0	7.5	3.5	4	0	0	0
Контрольні заходи												
1	екзамен	30	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0
Індивідуальні завдання												
1	інші індивідуальні завдання	65	0	0	0	0	65	0	0	0	0	65
<i>Всього з навчальної дисципліни (денна форма навчання)</i>		<i>150</i>	<i>44</i>	<i>24</i>	<i>20</i>	<i>0</i>	<i>106</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	<i>0</i>	<i>30</i>	<i>65</i>