



СЕНСОРНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	15 Автоматизація та приладобудування ¹
Спеціальність	153 Мікро- та наносистемна техніка
Освітня програма	Мікро- та наноелектроніка
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Змішана (очно-дистанційна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредита ЕКТС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік / Модульні контрольні роботи
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доц. Коваль Вікторія Михайлівна, v.m.koval@kpi.ua, 095 188 23 54 Лабораторні роботи: к.т.н., доц. Коваль Вікторія Михайлівна, v.m.koval@kpi.ua, 095 188 23 54
Розміщення курсу	Код класу: у3п2jtv https://meet.google.com/jxz-zcmd-amx

Програма навчальної дисципліни

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

В навчальній дисципліні “Сенсорні матеріали та технології” будуть вивчатися електрофізичні властивості сенсорних матеріалів та технологічні методи їх синтезу. Даний курс цікавий тим, що дає можливість познайомитись з великою різноманітністю сучасних сенсорних матеріалів та структур (графен, вуглецеві нанотрубки, наноструктурований кремній, нанопapіp, плазмонні матеріали, тонкоплівкові металооксидні матеріали тощо), а також технологіями їх синтезу (CVD/ALD/MLD techniques, sol-gel process, MACE). Майбутньому фахівцю зі спеціальності Мікро- та наносистемної техніки варто вивчати дану дисципліну, оскільки вона дає можливість познайомитись з матеріалами та технологіями, за допомогою яких виготовляються сучасні сенсори.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

– давати фізичне обґрунтування механізму перетворення певних фізичних величин (температури, тиску, концентрації, переміщення, швидкості, прискорення тощо) в електричний сигнал, що використовується для побудови сенсорів та датчиків;

– самостійно розробляти на основі вивчених фізичних ефектів нові види сенсорів та датчиків фізичних величин.

Вивчення даної дисципліни забезпечить студентів наступні **компетентності**: вдосконалювати сучасні та розробляти нові види сенсорних матеріалів та технологій.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

знання: електрофізичних властивостей сучасних сенсорних матеріалів та технологічних методів їх синтезу.

уміння: досліджувати сенсорні властивості різних видів матеріалів та здійснювати вибір матеріалу і технології під час розробки конкретних видів сенсорів.

досвід: практичного використання вивчених фізичних ефектів для пояснення механізму перетворення певних фізичних величин (температури, тиску, концентрації, переміщення, швидкості, прискорення тощо) в електричний сигнал, що використовується в сучасних електронних сенсорах, а також теоретичної розробки на їх основі нових видів чутливих елементів (сенсорів).

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

Для успішного вивчення даної дисципліни студенти мають засвоїти наступні дисципліни (**пререквізити дисципліни**):

- бакалаврські курси: “Фізика твердого тіла”, “Матеріали і компоненти мікро- та наносистемної техніки” та ”Технологічні основи електроніки”.

Результати навчання даної дисципліни використовуються для вивчення наступних дисциплін (**постреквізити дисципліни**):

- бакалаврські курси: “Оптоелектроніка”
- магістерські курси: “Електронні сенсори” та “Оптоелектронні інформаційні системи”.
- переддипломна практика та дипломне проектування.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин			
	Всього	у тому числі		
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (комп'ютерний практикум)

1	2	3	4	5	6
Розділ 1. Кремнієві матеріали					
Тема 1. Вступ. Визначення та класифікація матеріалів та технологій їх виготовлення.	1	1			
Тема 2. Аморфний кремній	9	3		7	
Тема 3. Нанокристалічний кремній	2	2			
Тема 4. Пористий кремній	2	2			
Тема 5. Кремнієві нанонитки	2	2			
Разом за розділом 1	21	14		7	
Розділ 2. Металооксидні матеріали					
Тема 1. Оксид цинку	2	2			
Тема 2. Оксид молібдену	3	3			
Тема 3. Оксид індій-олова					
Тема 4. Оксид титану					
Тема 5. Оксид вольфраму					
Контрольна робота 1	3	1			4
Разом за розділом 2	8	6			4
Розділ 3. Плазмонні матеріали					
Тема 1. Плазмонні наночастинки	19	4		15	
Тема 2. Періодичні плазмонні	4	4			

1	2	3	4	5	6
<i>структури (LIPS)</i>					
Разом за розділом 3	32	10		22	
Розділ 4. Целюлозні матеріали					
<i>Тема 1. Нанокристалічна целюлоза</i>	9	2		7	
<i>Тема 2. Нановолокниста та бактеріальна целюлоза</i>	1	1			
<i>Контрольна робота 2</i>	3	1			4
Разом за розділом 4	13	4		7	4
Розділ 5. Вуглецеві матеріали					
<i>Тема 1. Графен</i>	8				8
<i>Тема 2. Вуглецеві нанотрубки</i>	8				8
<i>Тема 3. Фулерени</i>					
Разом за розділом 5	16				16
<i>Реферат</i>	30				30
<i>Екзамен</i>					
<i>(або Залік)</i>	8	2			16
Всього годин	120	36		18	66

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни:

1. Основи наноелектроніки: підручник у 2 кн. Кн.2: Матеріали, технології і функціональні пристрої, Ч.1: Матеріали та Наноелектронні технології / Ю. І. Якименко, Д. М. Заячук, В. М. Співак, А. Т. Орлов, О.В. Богдан, В.М. Коваль; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут" ім. Ігоря Сікорського. 2016. -- 343 с.
2. Технологія елементів зінтегрованих схем мікро- та наносистемної техніки : навчальний посібник / Ю.М. Ховерко, І.П. Островський, А.О. Дружинін ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. - 169 с.
3. Хімія рослинних полімерів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки "Хімічна технологія" / В.А. Барбаш, І.М. Дейкун. - Київ: Каравела, 2018. - 439 с.

Допоміжна література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни:

1. Газові сенсори та застосування наноматеріалів у сенсориці: навчальний посібник / Л.П. Олексенко, Н.П. Максимович, І.П. Матушко, Г.В. Федоренко; Міністерство освіти і науки України, Київський національний університет імені Тараса Шевченка. - Київ: ВПЦ "Київський університет", 2019. – 143 с.
2. Матеріалознавство та технологія матеріалів: (у схемах і завданнях) : навчальний посібник / Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, С.В. Марченко; Міністерство освіти і науки України, Сумський державний університет. – Суми: Сумський державний університет, 2020. - 162 с
3. Фізика та технологія напівпровідникових діодів: монографія для спеціалістів в області технології виробництва та експлуатації напівпровідникових приладів / В.М. Литвиненко; Міністерство освіти і науки України, Херсонський національний технічний університет, Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій електроніки та інженерії. - Херсон: ФОП Вишемирський В.С., 2018. - 183 с
4. Малишев, Віктор Володимирович. Наноматеріали: технології одержання, класифікація, властивості та застосування: конспект лекцій для студентів природничих та інженерних спеціальностей напрямів підготовки "Хімічна технологія та інженерія", "Сучасні

нанотехнології та наноматеріали", "Харчові технології та інженерія", "Мікробіологія та вірусологія" денної та заочної форми навчання / В.В. Малишев, Н.Ф. Куцевська, А.І. Габ, Д.Б. Шахнін, О.А. Папроцька; Міністерство освіти і науки України, Університет "Україна". - Київ: Університет "Україна", 2017. - 78 с

5. Canham L. "Handbook of Porous Silicon". – Springer, 2018. – 1578 p.

6. Asim K. Ray "Oxide Electronics" Wiley. 2021. – 624 P.

Зазначену літературу можна знайти в бібліотеці КПІ ім.І.Сікорського, на сайті кафедри мікроелектроніки (<http://me.kpi.ua/index.php?id=61>) або в інтернеті.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Методика опанування дисципліни полягає у вивченні теоретичної частини матеріалу на лекційних заняттях та ознайомлення студентів з фізичними явищами, що лежать в основі роботи сенсорів, на лабораторних заняттях. В лекційному матеріалі головний акцент зроблено на теоретичні основи функціонування та основні параметри і характеристики електронних сенсорів. Всі лекційні заняття для підвищення наочності супроводжуються презентаціями, які демонструються на великому екрані за допомогою проектора.

Застосовуються стратегії активного і колективного навчання, які визначаються наступними методами і технологіями:

1) дослідницький метод викладу (лекції);

2) доповнення традиційних навчальних занять засобами взаємодії на основі мережевих комунікаційних можливостей (технологія GoogleClassroom та електронні презентації для лекційних занять).

Теми лекційних занять:

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Класифікація сенсорних матеріалів та технологій їх виготовлення: – Актуальність розробки та застосування сенсорів. Основні поняття. – Різновиди чутливих матеріалів. – Класифікація сучасних технологій синтезу матеріалів сенсорики.
2	Аморфний та нанокристалічний кремній: – Структурні різновиди кремнієвих матеріалів. – Методи синтезу тонких плівок кремнію різної структури.
3	Фізичні властивості та застосування плівкового кремнію аморфної, нанокристалічної та мікрокристалічної будови: – Структурні особливості кремнієвого плівкового матеріалу. – Зонна будова кремнієвого плівкового матеріалу. – Електричні властивості кремнієвого плівкового матеріалу.
4	Фізичні властивості та застосування плівкового кремнію аморфної, нанокристалічної та мікрокристалічної будови: – Оптичні властивості кремнієвого плівкового матеріалу. – Стабільність кремнієвого плівкового матеріалу.
5	Поруватий кремній: – Структурні особливості та різновиди поруватого кремнію. – Методи синтезу поруватого матеріалу.
6	Поруватий кремній: – Електричні та оптичні властивості por-Si. – Приклади застосування поруватого кремнію в сенсоріці.
7	Кремнієві нанотіки: – Структурні особливості та різновиди кремнієвих нанониток (SiNWs). – Методи синтезу кремнієвих одновимірних наноструктур (SiNWs).

8	Кремнієві нанотики: – Електричні та оптичні властивості SiNWs. – Приклади застосування кремнієвих нанониток (SiNWs) в сенсоріці.
9	Контрольна робота 1.
10	Наноцелюлозні матеріали: – Структурні особливості та різновиди наноцелюлозних матеріалів (NCC, NFC, BNC). – Методи синтезу наноцелюлози.
11	Наноцелюлозні матеріали: – Механічні, електричні, оптичні та біорозкладні властивості наноцелюлози. – Приклади застосування наноцелюлозних матеріалів в сенсоріці.
12	Металооксидні матеріали: – Різновиди металооксидних матеріалів для сенсорики (оксид цинку, оксид молібдену, оксид індій-олова, оксид титану, оксид вольфраму). – Методи синтезу металооксидних матеріалів.
13	Металооксидні матеріали: – Фізико-хімічні основи взаємодії молекул газу з поверхнею твердого тіла. – Приклади застосування металооксидних матеріалів в сенсоріці.
14	Плазмонні матеріали: – Різновиди плазмонних матеріалів для сенсорики (плазмонні наночастинки, періодичні плазмонні структури). – Методи синтезу плазмонних матеріалів
15	Плазмонні матеріали: – Оптичні особливості плазмонних наночастинок та періодичних плазмонних структур. – Приклади застосування плазмонних матеріалів в сенсоріці.
16	Вуглецеві матеріали: – Методи синтезу вуглецевих нанотрубок – Приклади застосування вуглецевих нанотрубок в сенсоріці
17	Контрольна робота 2
18	Залік

Назви лабораторних занять:

№ з/п	Назва семінарського заняття	Кількість ауд. годин
1	Вакуумні технології синтезу діелектричних та напівпровідникових матеріалів для сенсорики. Оптично-прозорі тонкі плівки.	2
2	Вакуумні технології синтезу металевих матеріалів для сенсорики. Сенсори вологості.	2
3	Хімічні технології синтезу наноматеріалів для сенсорики. Мікроскопічні дослідження.	2
4	Хімічні технології синтезу наноматеріалів для сенсорики. Сенсори освітленості.	2

6. Самостійна робота студента/аспіранта

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Методи синтезу та застосування графену у сенсоріці	4
2	Методи синтезу та застосування фулеренів у сенсоріці	4
3	Методи синтезу та застосування модифікаторів поверхні у сенсоріці	4
4	Підготовка до контрольної роботи 1	1

5	Підготовка до контрольної роботи 2	1
6	Підготовка до заліку	6

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні та лабораторні заняття проводяться дистанційно в системі GoogleClassroom (Код класу: y3n2jtv, <https://meet.google.com/jxz-zcmd-amx>). Відвідування лекційних занять не є обов'язковим, однак для одержання іспиту “автоматом” потрібно набрати більше 60 балів, які можна набрати відвідавши лекційне заняття (пройшовши експрес-тест по матеріалу лекції та написавши модульні контрольні роботи) та відвідавши лабораторне заняття (виконавши та захистивши лабораторні роботи).

Бали за *роботу під час лекції* нараховуються на основі експрес-опитування у вигляді тесту. Кожний тест містить 4 запитання до матеріалу лекційного заняття, правильна відповідь на які дасть змогу отримати 4 бали.

Робота на лабораторному занятті передбачає виконання або захист лабораторної роботи. За виконання кожної роботи студент одержує 5 балів, а на захисті – по 4 бали за оформлення протоколу та відповіді на 2 питання по теоретичному матеріалу лабораторної роботи.

Модульна контрольна робота проводиться на лекційному занятті у вигляді тестування. Кожний тест містить 10 запитань, правильні відповіді на які дають змогу одержати 10 балів.

Студенти, які набрали протягом семестру кількість балів ≥ 60 мають можливість не здавати залік, а отримати оцінку “автоматом” відповідно до набраного рейтингу з дисципліни. Студенти, які не набрали 60 балів, або набрали ≥ 60 , однак одержана оцінка їх не влаштовує, здають залік без урахування семестрових рейтингових балів.

Умова допуску до заліку – виконання та захист лабораторних робіт, написання модульних контрольних робіт.

Залік є усним. Білет на заліку складається з 2-х питань по тематиці змістовних модулів, що виносяться на аудиторні заняття та на самостійне опрацювання.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: експрес-опитування (тест) наприкінці кожної лекції.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу (дві модульні контрольні роботи та кількість виконаних і захищених лабораторних робіт).

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: виконання та захист лабораторних робіт, написання модульних контрольних робіт.

1. Система рейтингової оцінки по видам занять:

№ п/п	Заняття, що підлягають рейтинговій оцінці	Загальна кількість завдань	Максимальний бал за 1 завдання	Кількість балів на "відмінно"
1.	Лекції: -експрес-опитування (тест)	11	4	44
2.	Лабораторні заняття: виконання лабораторної роботи	4	5	20
	захист лабораторної роботи	4	4	16
3.	Модульні контрольні роботи (тести)	2	10	20
Семестрові бали				100

2. Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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

3. Якщо з об'єктивних обставин кількість занять змінюється, семестрові бали, наведені у п.н. 1, відповідним чином корегуються.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань для заліку:

1. Структурні різновиди кремнієвих матеріалів. Зонна будова, електричні та оптичні властивості аморфного кремнію для застосування у сенсоріці.
2. Структурні різновиди кремнієвих матеріалів. Зонна будова, електричні та оптичні властивості нанокристалічного кремнію для застосування у сенсоріці.
3. Технологічні методи синтезу тонких плівок кремнію різної структури.
4. Приклади застосування плівок кремнію різної структури в сенсоріці.
5. Структурні особливості та різновиди поруватого кремнію.
6. Технологічні методи синтезу поруватого матеріалу.
7. Електричні та оптичні властивості por-Si для застосування у сенсоріці.
8. Приклади застосування поруватого кремнію в сенсоріці.
9. Структурні особливості та різновиди кремнієвих нанониток.
10. Технологічні методи синтезу кремнієвих одновимірних наноструктур.
11. Електричні та оптичні властивості кремнієвих нанониток для застосування у сенсоріці.
12. Приклади застосування кремнієвих нанониток в сенсоріці.
13. Структурні особливості та різновиди nanoцелюлозних матеріалів.
14. Технологічні методи синтезу nanoцелюлози.
15. Механічні, електричні, оптичні та біорозкладні властивості nanoцелюлози для застосування у сенсоріці.
16. Приклади застосування nanoцелюлозних матеріалів в сенсоріці.
17. Різновиди металооксидних матеріалів для сенсоріки та їх фізико-хімічні властивості.
18. Технологічні методи синтезу металооксидних матеріалів.
19. Фізико-хімічні основи взаємодії молекул газу з поверхнею твердого тіла.
20. Приклади застосування металооксидних матеріалів в газовій сенсоріці.
21. Плазмонні матеріали в сенсоріці (плазмонні наночастинки та періодичні плазмонні структури).
22. Вуглецеві матеріали в сенсоріці (графен, вуглецеві нанотрубки та фулерени).

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доц., к.т.н., доц. Коваль В.М.

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

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