

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Навчально-науковий інститут високих технологій

Кафедра нанофізики конденсованих середовищ



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник директора
з навчальної роботи

Грабчук Г.П.

«24» травня 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Мікроелектромеханічні системи
для студентів**

галузь знань 10 Природничі науки
спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітній рівень бакалавр
освітня програма Нанофізика та комп'ютерні технології
вид дисципліни вибіркова

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2021/2022
Семестр	7
Кількість кредитів ECTS	3
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладач: Скришевський Валерій Антонович, завідувач кафедри нанофізики конденсованих середовищ

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дат)

КИЇВ – 2022

Розробник:

Скришевський Валерій Антонович, доктор фіз-мат наук, професор, завідувач кафедри

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри нанофізики конденсованих середовищ


_____ Валерій Скришевський

Протокол № 5 від «19» квітня 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією інституту високих технологій

Протокол від «13» травня 2022 року № 4

Голова науково-методичної комісії



Русінчук Н. М.

ВСТУП

1. Мета дисципліни - ознайомлення студентів із базовими технологіями виробництва мікроелектромеханічних систем (MEMS), наноелектромеханічних систем (NEMS), мікроопто-електромеханічних систем (MOEMS) та їх використанням в транспорті, космічній галузі, біології, медицині, моніторингу навколишнього середовища, науково-дослідній апаратурі та гаджетах.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності):

Навчальна дисципліна «**NEMS та MEMS сенсори**» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки, зокрема таких як «Механіка», «Електрика та магнетизм», «Оптика», «Атомна та ядерна фізика», «Твердотільна мікро і нанотехнологія», «Електрофізичні, хімічні та біологічні методи досліджень», «Фізика твердого тіла», «Нерівноважні процеси в напівпровідниках».

3. Анотація навчальної дисципліни:

У програмі дисципліни розглядаються сучасні методи та матеріали для створення MEMS та NEMS приладів мікрообробкою, Top-down та Bottom-up технологіями, та фізичні явища, які покладено в основу роботи MEMS та NEMS приладів. Розглядаються принципи роботи MEMS та NEMS приладів для транспортних та космічних застосувань, мікрофонів портативних пристроїв для медицини та гаджетів, мікроопто-електромеханічних систем (MOEMS) для медицини та біології, струйних та 3D принтерів. Студенти познайомляться із сучасними досягненнями в області створення напівпровідникових хімічних сенсорів на основі наноматеріалів, базовими фізичними явищами, які покладено в основу роботи сенсорів, оволодіння ними підходами до проведення вимірів токсичних та шкідливих газів та рідин за допомогою систем напівпровідникових сенсорів.

4. Завдання (навчальні цілі):

Навчання дисципліни має на меті розвивати у студентів такі компетентності:

ІК. Здатність самостійно ставити та розв'язувати на інноваційному рівні наукові та науково-технічні задачі проблеми у галузі прикладної фізики, нанофізики, наноматеріалознавства та високих технологій, пов'язані із виготовленням, аналізом властивостей, використанням наноматеріалів, проектування та виготовлення наносенсорних систем, що передбачає застосування теоретичних знань та навичок з фізики, математики, інженерії, програмування, вибраних розділів хімії та біології.

Загальні компетенції:

ЗК1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК4 Здатність спілкуватися іноземною мовою

ЗК5 Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК6 Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.

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

ЗК9 Здатність працювати автономно.

ЗК13 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями, уміннями, у тому числі в сфері, відмінної від професійної.

ЗК15 Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК18 Здатність працювати в команді.

Фахові компетенції:

ФК1 Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів.

ФК2 Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.

ФК3 Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження.

ФК4 Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок.

ФК5 Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.

ФК6 Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.

ФК7 Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

ФК9 Здатність використовувати знання про фізичну природу об'єктів у роботах по створенню нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів і речовин, зокрема, наноматеріалів чи удосконалення існуючих.

ФК10 Здатність реалізовувати автоматизацію експериментальних досліджень у різних сферах науки із використанням сучасних комп'ютерних технологій.

ФК11 Здатність використовувати комп'ютерні технології при проектуванні, розробці та діагностиці електронного обладнання.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Основні технології MEMS та NEMS. Методи нанотехнологій для NEMS. Top-down та Bottom-up процеси та методи контролю	Лекції, практичні	Модульна контрольна робота: 2 запитання	20%
1.2	MEMS прилади для транспортних та космічних застосувань, мікрофонів портативних пристроїв для медицини та гаджетів, мікроопто-електромеханічних систем (MOEMS) для медицини та біології	Лекції, практичні		15%
1.3	Прототипи та принципи роботи напівпровідникових хімічних сенсорів на основі MEMS, NEMS з використанням наноматеріалів	Лекції, практичні	Модульна контрольна робота: 2 запитання	10%
2.1	Проводити літературний та патентний пошук аналогів та прототипів заданих NEMS та MEMS сенсорів	Самостійна робота студента	Семестрова робота студента	15%
2.2	Використовувати та аналізувати алгоритми розрахунку параметрів NEMS та MEMS сенсорів (метод нейронних мереж, метод головних компонент)	Самостійна робота студента	Семестрова робота студента	15%

3.1	Вміти донести інформацію до аудиторії про досягнення та проблеми сучасних MEMS, NEMS, MOEMS, Біо-MEMS технологій та пристроїв	Самостійна робота студента	Доповідь під час практичних занять якість представлення	15%
4.1	Продемонструвати автономність та розуміння особистої відповідальності за професійні рішення при вивченні курсу	Практичні заняття, самостійна робота студента	Семестрова робота студента: обґрунтування методів	10%

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	3.1	4.1
PR01. Володіти поглибленим рівнем знань у прикладній фізиці, наноматеріалознавстві, високих технологіях та споріднених областях, включаючи методики проведення експериментів і технології отримання наноматеріалів, рівень цих знань повинен бути достатнім для проведення наукових досліджень на рівні останніх світових досягнень і направленим на їх розширення та поглиблення	+	+	+			+	+
PR03. Знаходити та аналізувати наукову та науковотехнічну інформацію в галузі прикладної фізики та наноматеріалів із вітчизняних та зарубіжних джерел, в тому числі з використанням сучасних пошукових систем.				+	+		+
PR06. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.	+	+	+				+
PR07. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики				+			+
PR09. Визначати напрямки перспективних досліджень з урахуванням світових тенденцій розвитку науки, техніки й технологій.	+	+	+			+	+
PR10. Скласти описи виконаних досліджень і проектів, що розробляються, обробки, аналізу та інтерпретації результатів досліджень, підготовки даних для складання звітів і презентацій, написання доповідей, статей та іншої науковотехнічної документації	+						+
PR14. Організувати результативну роботу індивідуально і як член команди.					+		+
PR16. Оцінювати важливість матеріалів для досягнення цілей наукового дослідження в галузі прикладної фізики зі спеціалізацією в сфері нанофізики.				+	+	+	+
PR17. Представляти і захищати отримані наукові і практичні результати в усній та письмовій формі.						+	+
PR19-1. Вибірковий блок 2: На основі отриманих знань проектувати та створювати автоматизовані експериментальні установки для проведення досліджень в природничих науках.					+		+
PR20-2. Вибірковий блок 2: Обслуговувати, діагностувати та удосконалювати існуючі експериментальні установки, що використовуються для різних потреб в галузі фізики, хімії та біології.					+		+

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання студентів:

рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт і за результатами виконання самостійних завдань. Вклад результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні наступний:

- результати навчання 1.1 – 1.4 [знання]- 50 %;
- результат навчання 2.1 – 2.2 [вміння] -30%;
- результат навчання 3.1 **комунікація** – 10%
- результат навчання 4.1 [автономність та відповідальність] – 10%.

семестрове оцінювання: контроль здійснюється за таким принципом. Навчальний семестр має два змістові модулі: у змістовий модуль 1 (ЗМ1) входять теми 1-5, у змістовий модуль 2 (ЗМ2) входять теми 6-10. Після завершення відповідних тем проводяться дві письмові модульні контрольні роботи. Для визначення рівня досягнення результатів навчання завдання для модульної контрольної роботи перевіряють уміння розв'язувати конкретні задачі. Обов'язковим для допуску до іспиту є написання 1-ї та 2-ї модульних контрольних робіт з кількістю балів не менше 18 балів та доповідь на практичних заняттях..

підсумкове оцінювання (у формі іспиту): письмово-усне. Білет іспиту складається із 2 питань, кожне питання оцінюється від 0 до 20 балів. Всього за іспит можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, при цьому оцінка за результатами навчання 2 [вміння], 3 (комунікація) і 4 [автономність та відповідальність] не може бути меншою ніж 50% від максимального рівня (15, 5 і 5 балів відповідно), оцінка за іспит не може бути меншою 24 балів.

умови допуску до підсумкового іспиту є отримання студентом сумарно не менше, аніж критично-розрахунковий мінімум 36 балів за семестр.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перездачі модульних контрольних робіт здійснюються у відповідності до „Положення про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу” від 1 жовтня 2010 року

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота: РН 1.1-1.3, 2.1 - 30 балів/18 балів.

2. Доповідь та активна участь на практичних заняттях: РН 2.2, 3.1,4.1 - 30 балів/18 балів.

Усього: 60 балів/36 балів.

- підсумкове оцінювання: іспит - 40 балів/24 бали.

.Усього: 100 балів/60 балів.

Оцінювання	Min	Max
Семестрове оцінювання	36	60
Всього	60	100

7.2 Організація оцінювання:

	ЗМ1		ЗМ2	
	Min. – балів	Max. – балів	Min. – балів	Max. – балів
Модульна контрольна робота 1	9	15		
Модульна контрольна робота 2			9	15

Виконання студентами самостійних робіт			15	30
--	--	--	----	----

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і лабораторних занять

№ п/п	Назва теми*	Кількість годин		
		лекції	семінари/ практичні/ лабораторні	Самостійн а робота
ЗМ1				
1	Тема 1 Вступ до мікрівиробництва інтегральних схем та MEMS. Основні технології MEMS та NEMS. Мікрообробка. Ізотропне та анізотропне травлення поверхні, об'ємна та лазерна мікрообробка, мікроелектророзрядна обробка, LIGA, фемтосекундна лазерна обробка.	2		4
2	Тема 2 Методи нанотехнологій для NEMS. Top-down та Bottom-up процеси та методи контролю. Молекулярно -променева епітаксія (MBE), Метало-органічне хімічне осадження (MOCVD), Нанолітографія Dip Pen (DPN), VLS та ALD методи, Випаровування, Розпилення, хімічне осадження парів (CVD), електрохімічне осадження.	2	2	4
3	Тема 3. MEMS прилади для транспортних та космічних застосувань. Датчики удару та акселерометри. Мікрофони MEMS у портативних пристроях (мобільні телефони, навушники, ноутбуки, слухові апарати), дисплеї.	2		4
4	Тема 4. Струйні принтери MEMS. Чорнила на основі наночастинок срібла, 3D принтер, гнучкі електронні схеми, польові транзистори на графені.	2	2	4
5	Тема 5. MOEMS (мікрооптичні MEMS). Технологія та застосування: астрономія, конфокальна мікроскопія, оптичні перемикачі, атомна силова мікроскопія. Наномеханічні приводи, насоси та двигуни.	2		4
Модульна Контрольна робота 1				
ЗМ2				
6	Тема 6. MEMS газові сенсори на основі метал-оксидних напівпровідників, адсорбційно-десорбційні явища при взаємодії молекул з метал-оксидом. Сенсори провідності для детекції вологи, токсичних газів, лямбда сенсори кисню.	2	2	4
7	Тема 7. Газові сенсори на основі поверхнево-барерних структур, GasFET-сенсори на водень та інші гази, іонно-селективні польові транзистори (ISFET), EIS, LAPS сенсори. Метод Кельвіна.	2		4

8	Тема 8. Використання полімерів для хімічних сенсорів. Акустичні та калориметричні MEMS сенсори. Оптичні сенсори. Оксиметр. Використання поверхнево-підсиленого комбінаційного розсіяння світла (SERS) та поверхнево-плазмонного резонансу (SPR) для сенсорики.	2	2	4
9	Тема 9. Сенсор на основі біо-спорідності та метаболічний Біо-MEMS принцип дії, матеріали, технології виготовлення. Електрохімічні трансдюсери. Детекція ДНК	4		2
10	Тема 10. NEMS сенсори на основі наноматеріалів. Сенсори на основі пористого кремнію. Електричні, оптичні та люмінесцентні трансдюсери на основі наноматеріалів.	4	2	2
	<i>Модульна контрольна робота 2</i>			
	ВСЬОГО	24	10	56

Загальний обсяг 90 год., в тому числі:

Лекцій – **20 год.**

Практичні заняття -**10 год.**

Самостійна робота - **60 год.**

9. Рекомендовані джерела:

Основна: (Базова)

1. В.А.Скришевський, Фізичні основи напівпровідникових хімічних сенсорів, Київ, Київський університет, 2006
2. Дзядевич С.В., Солдаткін О.П. Наукові та технологічні засади створення мініатюрних електрохімічних біосенсорів. / Київ: Наукова думка.– 2006.– 255с.
3. Бєлих І.А., Клещев М.Ф. Біологічні та хімічні сенсорні системи. / Харків: НТУ «ХПІ».- 2011.- 143 с.
4. С.Зи. Физика полупроводниковых приборов, т1,2, 1984
5. Лєпїх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевич С.В., Дружинін А.О., Євтух А.А., Ленков С.В., Мельник В.Г., Проценко В.О. Романов В.О. Інтелектуальні вимірювальні системи на основі мікроелектронних датчиків нового покоління / Одеса: Астропринт.- 2011.-352 с.
6. Навчальні посібники, які розроблено в рамках проекту TEMPUS №530785-TEMPUS-1-2012-1-PL-TEMPUS-JPCR <http://cad.lp.edu.ua/ua/project>
- 6.1 Valeriy Skryshevsky, Anatoliy Evtukh, Volodymyr Ilchenko, Anatoliy Shkavro, Volodymyr Verbitskiy, Microfabrication of IC and Microsystem Devices
- 6.2 Valeriy Skryshevsky, Anatoliy Evtukh, Valeriy Lozovski, Oleg Tretyak, Advanced Materials of Micro and Nano Technology
- 6.3 Valeriy Skryshevsky, Ivan Ivanov, Application of Microsystems Devices
- 6.4 Valeriy Skryshevsky, Anatoliy Evtukh, Volodymyr Ilchenko, Advanced Nanosystems Design and Fabrication Techniques

Додаткова:

1. V. Skryshevsky, T.Serdiuk, Y.Zakharko, S.Alekseev, A.Géloën, V. Lysenko Preparation, Luminescent Properties and Bioimaging Application of Quantum Dots Based on Si and SiC, In: Functional Nanomaterials and Devices for Electronics, Sensors and Energy Harvesting. Ed.

Alexei Nazarov, Francis Balestra, Valeriya Kilchytska, Denis Flandre, Springer, Switzerland, 2014, pp.323-348.

2. V.A.Skryshevsky.Porous Si Structures for Gas, Vapor and Liquid Sensing. In: Comprehensive Guide for Mesoporous Materials, Volume 3: Properties and Development Ed. Mahmood Aliofkhaezai, Nova Science Publishers Inc.,US, 2015, pp. 123-146.

10. Додаткові ресурси:

1. Іванов І. І., Скришевський В. А. Напівпровідникові сенсори: навчально-методичний комплекс для студентів природничих спеціальностей КР «Магістр», 2018

[http://www.iht.univ.kiev.ua/e-library/Методичний комплекс Напівпровідникові сенсори v03.pdf](http://www.iht.univ.kiev.ua/e-library/Методичний_комплекс_Напівпровідникові_сенсори_v03.pdf)

2. Сенсорна електроніка і мікросистемні технології, <http://semst.onu.edu.ua/about>