


**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**  
**Інститут високих технологій**

Кафедра нанофізики конденсованих середовищ

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**  
Заступник директора  
з науково-навчальної роботи



  
Галина ГРАБЧУК  
«22» березня 2021 року

## **РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **NEMS та MEMS сенсори**

**для студентів**

галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	102 Хімія
освітній рівень	другий (магістр)
освітньо-наукова програма	Високі технології (хімія та наноматеріали)
вид дисципліни	вибіркова

Форма навчання	<u>денна</u>
Навчальний рік	2021/2022
Семестр	<b>3</b>
Кількість кредитів ECTS	<b>3.0</b>
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладач: Скришевський Валерій Антонович

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

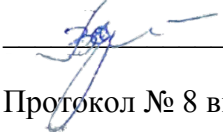
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» \_\_\_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дат)

**КИЇВ – 2021**

**Розробник:** проф. Скришевський В.А.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри нанофізики конденсованих середовищ

 Валерій СКРИШЕВСЬКИЙ

Протокол № 8 від «26» лютого 2021 р.

Схвалено науково - методичною комісією Інституту високих технологій

Протокол від « 5» березня 2021 року № 3

Голова науково-методичної комісії



(Наталія РУСІНЧУК.)

## 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 дисципліні має на меті розвивати у студентів такі компетентності:

ЗК1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності

ЗК2. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями.

ЗК3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність до адаптації та дії в новій ситуації.

ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність), а також формулювати судження, маючи неповну або обмежену інформацію.

ЗК7. Навички використання інформаційних і-комунікаційних технологій в хімічних дослідженнях та професійній діяльності.

ЗК8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ФК1. Здатність використовувати закони, теорії та концепції хімії у поєднанні із відповідними математичними інструментами для опису природних явищ.

ФК2. Здатність будувати адекватні моделі хімічних явищ, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, в тому числі з використанням методів молекулярного, математичного і комп'ютерного моделювання.

ФК5. Здатність застосовувати методи комп'ютерного моделювання для вирішення наукових, хіміко-технологічних проблем та проблем хімічного матеріалознавства.

**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	<i>MEMS прилади для транспортних та космічних застосувань, мікрофонів портативних пристроїв для медицини та гаджетів, мікроопто-електромеханічних систем (MOEMS) для медицини та біології</i>	<i>Лекції, практичні</i>		15%
1.3	<i>Прототипи та принципи роботи напівпровідникових хімічних сенсорів на основі MEMS, NEMS з використанням наноматеріалів</i>	<i>Лекції, практичні</i>	<i>Модульна контрольна робота: 2 запитання</i>	10%
2.1	<i>Проводити літературний та патентний пошук аналогів та прототипів заданих NEMS та MEMS сенсорів</i>	<i>Самостійна робота студента</i>	<i>Семестрова робота студента</i>	15%
2.2	<i>Використовувати та аналізувати алгоритми розрахунку параметрів NEMS та MEMS сенсорів (метод нейронних мереж, метод головних компонент)</i>	<i>Самостійна робота студента</i>	<i>Семестрова робота студента</i>	15%
3.1	<i>Вміти донести інформацію до аудиторії про досягнення та проблеми сучасних MEMS, NEMS, MOEMS, Біо-MEMS технологій та пристроїв</i>	<i>Самостійна робота студента</i>	<i>Доповідь під час практичних занять якості представлення</i>	15%
4.1	<i>Продемонструвати автономність та розуміння особистої відповідальності за професійні рішення при вивченні курсу</i>	<i>Практичні заняття, самостійна робота студента</i>	<i>Семестрова робота студента: обґрунтування методів</i>	10%

## 6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2
<b>Програмні результати навчання</b>						
1. Здатність використовувати закони, теорії та концепції хімії у поєднанні із відповідними математичними інструментами для опису природних явищ.	+	+	+	+	+	+
2. Здатність будувати адекватні моделі хімічних явищ, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, в тому числі з використанням методів молекулярного, математичного і комп'ютерного моделювання.	+	+	+	+	+	+
5. Здатність застосовувати методи комп'ютерного моделювання для вирішення наукових, хіміко-технологічних проблем та проблем хімічного матеріалознавства.					+	+
8. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в галузі хімії, вибирати напрями та відповідні методи для їх розв'язання на основі розуміння сучасної проблематики досліджень в галузі хімії та беручи до уваги наявні ресурси.					+	+

## 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.

- **підсумкове оцінювання: відсутнє.**

Оцінювання	Min	Max
Семестрове оцінювання	36	60
<b>Всього</b>	<b>60</b>	<b>100</b>

**7.2 Організація оцінювання:**

	<i>ЗМ1</i>		<i>ЗМ2</i>	
	<i>Min. – балів</i>	<i>Max. – балів</i>	<i>Min. – балів</i>	<i>Max. – балів</i>
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	Самостійна робота
<i>ЗМ1</i>				

1	<b>Тема 1</b> 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	<b>Тема 2</b> 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	<b>Тема 3.</b> 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	<b>Тема 4.</b> Струйні принтери MEMS. Чорнила на основі наночастинок срібла, 3Д принтер, гнучкі електронні схеми, польові транзистори на графені.	2	2	4
5	<b>Тема 5.</b> MOEMS (мікрооптичні MEMS). Технологія та застосування: астрономія, конфокальна мікроскопія, оптичні перемикачі, атомна силова мікроскопія. Наномеханічні приводи, насоси та двигуни.	2		4
<b>Модульна Контрольна робота 1</b>				
<b>3M2</b>				
6	<b>Тема 6.</b> 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	<b>Тема 7.</b> Газові сенсори на основі поверхнево-бар'єрних структур, GasFET-сенсори на водень та інші гази, іонно-селективні польові транзистори (ISFET), EIS, LAPS сенсори. Метод Кельвіна.	2		4
8	<b>Тема 8.</b> 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	<b>Тема 9.</b> Сенсор на основі біо-спорідності та метаболічний Біо-MEMS принцип дії, матеріали, технології виготовлення. Електрохімічні трансдьюсери. Детекція ДНК	2		4
10	<b>Тема 10.</b> NEMS сенсори на основі наноматеріалів. Сенсори на основі пористого кремнію. Електричні, оптичні та люмінесцентні трансдьюсери на основі наноматеріалів.	2	2	4
<b>Модульна контрольна робота 2</b>				
<b>ВСЬОГО<sup>1</sup></b>		<b>20</b>	<b>10</b>	<b>60</b>

**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., Гордїєнко Ю.О., Дзядевич С.В., Дружинїн А.О., Євтух А.А., Лєнков 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>