

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Інститут високих технологій

Кафедра нанофізики конденсованих середовищ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник директора
з науково-педагогічної роботи
Галина ГРАБЧУК
« 22 » 2021 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Сучасні технології і матеріали MEMS приладів

для студентів
галузь знань №10 «Природничі науки»
спеціальність № 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
освітній рівень Магістр
освітня програма «Високі технології (прикладна фізика та наноматеріали)»
вид дисципліни вибіркова

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2021/2022
Семестр	3
Кількість кредитів ECTS	4.0
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	залік

Викладач: Горбанюк Тетяна Іванівна

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

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

КИЇВ – 2021

Розробники:

Скришевський Валерій Антонович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри нанофізики конденсованих середовищ

Горбанюк Тетяна Іванівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри нанофізики конденсованих середовищ

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри нанофізики конденсованих середовищ


_____ Валерій СКРИШЕВСЬКИЙ
(підпис) (прізвище та ініціали)

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


_____ (підпис)

(Русінчук Н.М.)
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

1. Мета дисципліни - ознайомлення студентів з матеріалами для виробництва мікроелектромеханічних систем (МЕМС), зокрема з напівпровідниками групи A^3B^5 , п'єзокристалами, дцелектриками та полімерами. В курсі студенти знайомляться також із базовими технологіями виробництва МЕМС, наприклад, з технологією термічного та магнітного розпилення, методом CVD.

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

Навчальна дисципліна «Сучасні технології і матеріали МЕМС приладів» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки, зокрема таких як «Механіка», «Електрика та магнетизм», «Оптика», «Атомна та ядерна фізика», «Твердотільна мікро- та нанотехнологія, деградація та надійність матеріалів та структур на їх основі», «Нанофотоніка», «Вибрані розділи неорганічної та органічної хімії», «Електрофізичні, хімічні та біологічні методи досліджень».

3. Анотація навчальної дисципліни:

У програмі дисципліни представлені основні принципи створення мікроелектромеханічних пристроїв, функціональний склад та конструктивно-технологічні рішення МЕМС – пристроїв, наведено класифікацію технологічних процесів, що використовуються в їхньому виробництві, особливості структур нано-діапазону, принцип електромеханічних аналогій, ефекти зміни масштабу, а також квантово-механічні ефекти, що діють у діапазоні 1-100 нм, науково – аналітичні прилади для дослідження наноструктур, методи формування малюнка та структур приладів, принципи, що використовуються при складанні наноструктур, основні групи матеріалів, які застосовують у МЕМС, а також проблеми та особливості застосування МЕМС з точки зору прикладної фізики.

4. Завдання (навчальні цілі):

Навчання дисципліни має на меті розвивати у студентів такі компетентності:

ЗК1 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК3 Здатність спілкуватися іноземною мовою.

ЗК6 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК7 Здатність працювати в команді.

ЗК8 Навички міжособистісної взаємодії.

ЗК10 Навички здійснення безпечної діяльності.

ЗК11 Здатність до подальшого навчання, яке значною мірою є автономним та самостійним.

ЗК13 Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми, що потребує оновлення та інтеграції знань, часто в умовах неповної/недостатньої інформації та суперечливих вимог.

ЗК14 Здатність зрозуміло і недвозначно доносити власні висновки, а також знання та пояснення, що їх обґрунтовують, до фахівців і нефахівців, зокрема до осіб, які навчаються.

ЗК15 Здатність до прийняття рішень у складних і непередбачуваних умовах, що потребує застосування нових підходів та прогнозування.

ЗК19 Здатність нести відповідальність за розвиток професійного знання і практик, оцінку стратегічного розвитку команди.

ФК2 Здатність оптимально визначити матеріальні засоби, необхідні для проведення наукового дослідження або науково-технічної розробки (матеріали, апаратура, обладнання, обчислювальна техніка та інше).

ФК3 Здатність аналізувати отримані результати, презентувати їх фахівцям у даній галузі, оформлювати наукові статті та науково-технічні звіти.

ФК4 Здатність встановлювати взаємозв'язок внутрішньої структури елементів та компонентів сучасного обладнання з їх електричними і електрофізичними характеристиками

та параметрами.

ФК5 Здатність використовувати прикладне програмне забезпечення у проектуванні електронної техніки.

ФК6 Здатність встановлювати області застосування виробів електронної техніки.

ФК8 Знання основних типів наноматеріалів, їх фізичних властивостей та процесів, що протікають в нанорозмірних структурах, розуміння фізичних принципів роботи наноелектронних приладів та їх використання.

ФК9 Здатність відслідковувати найновіші досягнення в області прикладної фізики та високих технологій, вивчаючи наукову літературу та взаємодіючи спілкуючись із колегами.

ФК10 Здатність відповідно до поставленої задачі проводити самостійно та в команді наукові дослідження фізичних систем, явищ і процесів (експериментальні, теоретичні, комп'ютерне моделювання) в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

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 МЕМС та НЕМС. Методи нанотехнологій для НЕМС. Top-down та Bottom-up процеси та методи контролю	Лекції, практичні	Модульна контрольна робота: 2 запитання	13%
1.2	МЕМС прилади для транспортних та космічних застосувань, мікрофонів портативних пристроїв для медицини та гаджетів, мікроопто-електромеханічних систем (МОЕМС) для медицини та біології	Лекції, практичні	Модульна контрольна робота: 2 запитання	12%
1.3	Прототипи та принципи роботи напівпровідникових хімічних сенсорів на основі МЕМС, НЕМС з використанням наноматеріалів	Лекції, практичні	Модульна контрольна робота: 4 запитання	10%
1.4	Технологію та властивості колоїдних розчинів квантових точок на основі Si, SiC, C та металів для датчиків, біовізуалізації та тераностіки..	Лекції, практичні	Модульна контрольна робота: 4 запитання	15%
2.1	Проводити літературний та патентний пошук аналогів та прототипів заданих НЕМС та МЕМС сенсорів	Самостійна робота студента	Семестрова робота студента	15%
2.2	Використовувати та аналізувати алгоритми розрахунку параметрів НЕМС та МЕМС 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 МЕМС, НЕМС, МОЕМС, БіоМЕМС технологій та пристроїв	Самостійна робота студента	Доповідь під час практичних занять якості представлення	10%
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	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	4.1
ПРН 1 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.	+	+	+	+				+	+
ПРН5 Обговорювати та знаходити прогресивні та інноваційні рішення проблем і завдань при виконанні науково-технічних та виробничих проектів.	+		+		+	+	+	+	+
ПРН8 Коректно формулювати професійні висновки, апробувати їх та доносити до аудиторії різного фахового рівня, використовуючи сучасні методики наукової та технічної комунікації українською та іноземними мовами.		+			+	+	+	+	+

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 15 балів та доповідь на практичних заняттях..

підсумкове оцінювання (у формі іспиту): письмово-усне. Білет заліку 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 залік не може бути меншою 24 балів.

умови допуску до підсумкового іспиту є отримання студентом сумарно не менше, аніж критично-розрахунковий мінімум 35 балів за семестр. Студенти, які протягом семестру набрали

сумарно меншу кількість балів, ніж критично-розрахунковий мінімум 35 балів, для одержання допуску до заліку обов'язково повинні написати на необхідну порогову кількість балів додаткову контрольну роботу за матеріалом відповідного семестру та доскладають домашні завдання для підвищення балів за виконання самостійної роботи.

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, 4.1 - 46 балів/29 бали.
 2. Самостійна семестрова робота: РН 2.1-2.2, 3.1. - 38 балів/23 бали.
 3. Доповідь на практичному занятті: РН 1.4,3.1 - 16 балів/8 балів.
- Усього: 100 балів/60 балів.

- підсумкове оцінювання: відсутнє.

Оцінювання	Min	Max
Семестрове оцінювання	60	100
Всього	60	100

7.2 Організація оцінювання:

	ЗМ1		ЗМ2	
	Min. – балів	Max. – балів	Min. – балів	Max. – балів
Модульна контрольна робота 1	15	30		
Модульна контрольна робота 2			15	30
Виконання студентами самостійних робіт			5	6

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
ЗМ1				
1	Тема 1 Вступ до мікрівиробництва інтегральних схем (IC) та МЕМС. Основні технології МЕМС та НЕМС. Мікрообробка. Ізотропне та анізотропне травлення поверхні, об'ємна та лазерна мікрообробка, мікроелектророзрядна обробка, LIGA	4	4	8
2	Тема 2 Методи нанотехнологій для НЕМС. Top-down та Bottom-up процеси та методи контролю	2		8

3	Тема 3. МЕМС прилади для транспортних та космічних застосувань. Мікрофони МЕМС у портативних пристроях (мобільні телефони, навушники, ноутбуки, слухові апарати).	2		8
4	Тема 4. Струйні принтери МЕМС. Чорнила на основі наночастинок срібла. 3Д принтер	2	4	8
5	Тема 5. Мікроопто-електромеханічні системи (МОЕМС) та їх застосування для медицини та біології	2		8
Модульна Контрольна робота 1				
ЗМ2				
6	Тема 6. Наномеханічні приводи, насоси та двигуни. Датчики тиску МЕМС.	2		8
7	Тема 7. Датчики опору (провідності), ємності, датчики на основі бар'єру Шоткі, гетеропереходів МДН, датчики FET та ISFET, мембранні датчики.	4		8
8	Тема 8. Люмінесцентні датчики, оптичні датчики, оптичні хвилеводи для детекції газів та рідин на основі наноматеріалів, БіоМЕМС.	2	4	8
9	Тема 9. Композити та основні аерогелів як платформи для хімічних датчиків та оптоелектроніки. Лічильник Черенкова	2		8
10	Тема 10. Колоїдні розчини квантових точок на основі Si, SiC, C та металів для датчиків, біовізуалізації та тераностіки.	2	4	8
Модульна контрольна робота 2				
ВСЬОГО¹		24	16	80

Загальний обсяг 90 год., в тому числі:

Лекцій – **24 год.**

Лабораторні заняття -**16 год.**

Самостійна робота - **80 год.**

9. Рекомендовані джерела:

Основна: (Базова)

1. Micromachining Techniques for Fabrication of Micro and Nano Structures, ed. Mojtaba Kahrizi, InTech, 2012
2. Micromachining of Engineering materials, Ed. Joseph McGeough, Marcel Dekker Inc New York, 2002
3. Handbook of Silicon Based MEMS Materials and Technologies, eds. Veikko Lindroos, Markku Tilli, Ari Lehto and Teruaki Motooka, Oxford, Elsevier, 2010
4. Lyshevski, Sergey Edward, MEMS and NEMS : systems, devices, and structures, CRC Press LLC, N.W., 2002
5. N Mark J. Schulz, Vesselin N. Shanov, Yeoheung Yun - Nanomedicine Design of Particles, Sensors, Motors, Implants, Robots, and Devices (Artech House Series Engineering in Medicine & Biology) (2009). W., 2002,
6. Vikas Choudhary ed., MEMS fundamental technology and applications, CRC Press Taylor & Francis Group 2013
7. VIJAY KUMAR ed., NANOSILICON, Elsevier, 2007

¹ У робочій програмі навчальної дисципліни для лекційних, семінарських, практичних і лабораторних занять зазначається *реальна* кількість годин (*кратне 2 год.* – час тривалості пари).

8. І.В.А.Скришевський, Фізичні основи напівпровідникових хімічних сенсорів, Київ, Київський університет, 2006
9. S.M.Sze, Semiconductor Sensors, Wiley, New York, 1996.

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 Aliofkhaeaei, Nova Science Publishers Inc.,US, 2015, pp. 123-146.

10. Додаткові ресурси:

1. Іванов І. І., Скришевський В. А. Напівпровідникові сенсорі: навчально-методичний комплекс для студентів природничих спеціальностей КР «Магістр», 2018
[http://www.iht.univ.kiev.ua/e-library/Методичний комплекс Напівпровідникові сенсорі v03.pdf](http://www.iht.univ.kiev.ua/e-library/Методичний_комплекс_Напівпровідникові_сенсори_v03.pdf)
1. Навчальні посібники, які розроблено в рамках проекту TEMPUS №530785-TEMPUS-1-2012-1-PL-TEMPUS-JPCR <http://cad.lp.edu.ua/ua/project>