КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Навчально-науковий інститут високих технологій

Кафедра нанофізики конденсованих середовищ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник директора
з навчальної роботи
___________ Грабчук Г.П.
«____»____________2023__ року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Фізичні принципи сенсорики

для студентів

галузь знань **10 Природничі науки**

спеціальність **105 Прикладна фізика та наноматеріали**

освітній рівень **магістр**
освітня програма **Прикладна фізика та наноматеріали**

вид дисципліни **обов'язкова**

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2023/2024
Семестр	**1**
Кількість кредитів ECTS	**3**
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладачі: професор В.А.Скришевський

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. __________(___________) «__»___ 20__р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. __________(___________) «__»___ 20__р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2023

Розробники:
доктор фіз.-мат. наук, професор Скришевський Валерій Антонович, завідувач кафедри нанофізики конденсованих середовищ

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри нанофізики конденсованих середовищ

___________________ (Валерій Скришевський)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № ___ від «____» ___________ 20___ р.

Схвалено науково - методичною комісією НН Інституту високих технологій

Протокол від «____» _____________ 20___ року №___

Голова науково-методичної комісії _____________________ (Оксана Футорна)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Погоджено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки і комп'ютерних систем.

Протокол від «____» _____________ 20___ року №___

Голова науково-методичної комісії _____________________ Сергій Радченко
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

1. Мета дисципліни - ознайомлення студентів з сучасними досягненнями в області створення напівпровідникових хімічних сенсорів, 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

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

Навчальна дисципліна «**Фізичні принципи сенсорики»** базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки, зокрема таких як «Електрика та магнетизм», «Оптика», «Атомна фізика», «Квантова механіка», «Диференціальні рівняння», «Математична фізика», «Радіоелектроніка», «Коливання та хвилі».

3. Анотація навчальної дисципліни (*до 700 символів*):

У програмі дисципліни розглядаються фізичні явища, які покладено в основу роботи газових та біосенсорів, напівпровідникові структури мікро-, опто- та наноелектроніки, на основі яких створюються сенсори, алгоритми та методи вимірів параметрів цих структур, основи технології виробництва та метрології. Зокрема викладаються основні відомості про електронний ніс, методи обробки сигналів від мультисенсорів, газові сенсори на основі метал-оксидних напівпровідників та на основі поверхнево - бар'єрних структур (GasFET, ISFET, MIS); люмінесцентні, оптичні та електричні трансдьюсери на основі нанокристалічних напівпровідників, сенсори на основі полімерів, акустичних хвиль, термічних та оптичних явищ.

4. Завдання (навчальні цілі

Навчання дисципліні має на меті розвивати у студентів такі компетентності:

ЗК 6. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.;
ЗК 11. Здатність працювати в команді.;
ЗК 12. Навички міжособистісної взаємодії.;
ФК 3. Здатність брати участь у проведенні експериментальних досліджень властивостей фізичної системи, фізичних явищ і процесів.;
ФК 4. Здатність брати участь у виготовленні зразків матеріалів та об'єктів дослідження.;
ФК 7. Здатність брати участь в роботі колективів виконавців, у тому числі у міждисциплінарних проектах.;
ФК 8. Здатність брати участь у формуванні запитів щодо матеріально-технічного забезпечення досліджень.;
ФК 13. Здатність брати участь у роботах зі складання наукових звітів та у впровадженні результатів проведених досліджень та розробок.;
ФК 14. Здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи базові методи дослідницької діяльності.;

5. Результати навчання за дисципліною: *(описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)*

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			

* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

*

1	студент повинен **знати**:	*Лекції*	письмові модульні контрольні роботи, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	*60%*
1.1	Принцип роботи напівпровідникового електронного носу та хімічного сенсору. Принцип дії польового транзистора як GasFET структури та pH метр на ISFET-структурі. Метал-оксидні сенсори провідності порошкового та плівкового типу. Лямбда-сенсори.			
1.2	Електропровідні полімери. Об'ємні акустичні хвилі. Поверхневі акустичні хвилі. Калориметричні сенсори. Сенсори на оптичному волокні. Використання наноматеріалів та квантоворозмірних ефектів для сенсорики. Біосенсори.			
2	студент повинен **вміти**:	*Лекції та лаблоаторнні роботи*	письмові модульні контрольні роботи, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	*30%*
2.1	Проводити літературний та патентний пошук аналогів та прототипів заданих сенсорів			
2.2	Використовувати та аналізувати алгоритми розрахунку параметрів матриць сенсорів (метод нейронних мереж, метод головних компонент)			
3	Комунікація			
3.1	Вміти донести інформацію до аудиторії про досягнення та проблеми сучасних сенсорів	*лекції*		
4	**автономність та відповідальність**	*самостійна робота*	оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	*10%*
4.1	продемонструвати автономність та розуміння особистої відповідальності за професійні рішення при вивченні курсу			

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання *(необов'язково для вибіркових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)*

Результати навчання дисципліни **Програмні результати навчання**	**1.1**	**1.2**	**2.1**	**2.2**	**3.1**	**4.1**
ПРН 3. Знання сучасних обчислювальних та інформаційних технологій			+	+		
ПРН 4. Знання іноземної мови.;			+	+		
ПРН 5. Знання етичних та соціально-економічних основ сучасного суспільства.;					+	+
ПРН 6. Знаходити і аналізувати науково-технічну інформацію з різних джерел з	+	+	+			+

використанням сучасних інформаційних технологій.;						
ПРН 9. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.;	+	+				
ПРН 19. Проводити наукові дослідження в галузі прикладної фізики та ефективно використовувати їх результати для вирішення комплексних проблем або вивчення складних явищ на основі інтердисциплінарних знань.;	+	+			+	+

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 – 1.7 [**знання**]- 60 %;
- результат навчання 2.1 – 2.6 [**вміння**] -30%;
- 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 1-4, у змістовий модуль 2 (ЗМ2) входять теми 5-8. Після завершення відповідних тем 1-4 проводяться письмова модульна контрольна робота. 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 модульної контрольної роботи з кількістю балів не менше 15 балів та доповідь на семінарському занятті із кількістю балів не менше 15.

підсумкове оцінювання (у формі іспиту): форма іспиту – письмово-усна. Екзаменаційний білет іспиту складається із 2 питань, кожне питання оцінюється від 0 до 25 балів. Всього за іспит можна отримати від 0 до 50 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, при цьому оцінка за результатами навчання 2 [вміння] і 4 [автономність та відповідальність] не може бути меншою ніж 50% від максимального рівня (15 і 5 балів відповідно), оцінка за іспит не може бути меншою 30 балів.

умови допуску до підсумкового іспиту: умовою допуску до іспиту є отримання студентом сумарно не менше, аніж критично-розрахунковий мінімум 30 балів за семестр. Студенти, які протягом семестру набрали сумарно меншу кількість балів, ніж критично-розрахунковий мінімум 30 балів, для одержання допуску до іспиту 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.

7.2 Організація оцінювання:

	ЗМ1		***ЗМ2***	
	Min. – балів	*Max. – балів*	*Min. – балів*	*Max. – балів*
Модульна контрольна робота	15	25		
Доповідь на семінарі			15	25

Орієнтований графік оцінювання:

	Орієнтовний період для здійснення відповідної форма оцінювання
Модульна контрольна робота	листопад
Виконання студентами самостійних робіт, доповідь на семінарі	Протягом семестру
Добір балів/додаткова контрольна робота та/або доскладання домашніх завдань	грудень
Іспит	друга половина грудня

Розрахунок балів, які студент отримує при успішній здачі іспиту:

	Змістовий Модульна контрольна робота	Доповідь на семінарі	Іспит	Підсумкова оцінка
Мінімум	**15**	**15**	**30**	**60**
Максимум	**25**	**25**	**50**	**100**

7.3 Шкала відповідності оцінок

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

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і семінарських / практичних / лабораторних *(вибрати необхідне)* **занять**

№ п/п	**Назва теми***	**Кількість годин**		
		лекції	**семінари/ практичні/ лабораторні** *вибрати необхідне*	**Самостійна робота**
1	Напівпровідниковий електронний ніс і хімічний сенсор. Основні характеристики хімічних сенсорів. Адсорбційно-десорбійні процеси на поверхні твердого тіла.	2	1	6
2	Енергетична модель процесу адсорбції в метал-оксидах. Розрахунок концентрації адсорбованих молекул. Сенсори провідності порошкового та плівкового типу. Лямбда-сенсори	1	1	8
3	Принцип дії польового транзистора. Модель чутливості до водню Gas FET-сенсорів з паладієм. pH метр на ISFET-структурі. Сенсор на бар'єрі Шотткі. Метод Кельвіна. Потенціометричний сенсор зі світловою адресацією.	2	2	7
4	Властивості полімерів. Сенсори на основі електропровідних полімерів. Використання полімерів для розпізнавання адсорбованих молекул. Принцип дії іонноселективної мембрани. Об'ємні акустичні хвилі. Поверхневі акустичні хвилі.	2	2	8
	Контрольна робота 1	1		
5	Калориметричні сенсори. Мембранні сенсори. Термічний сенсор вологості. Сенсори на оптичному волокні. Оптод. Використання поверхнево-підсиленого комбінаційного розсіяння світла для сенсорів	2	2	8
6	Поверхневий плазмонний резонанс. Конфігурації Отто та Кретщмана для ППР сенсорів. Алгоритми аналізу сигналів мультисенсорів.	1	2	8
7	Розмірно квантування в кремнії. Технологія отримання, морфологічні, структурні, оптичні та люмінесцентні властивості нанокремнію.	1	2	8
8	Електропровідність поруватого Si. Вплив адсорбції на електричні властивості. Конструктивні особливості та характеристики оптичних, люмінесцентних, резистивних, конденсаторних та бар'єрних сенсорів на нанокремнії.	2	2	8
	ВСЬОГО[1]	**14**	**14**	**61**

*Примітка: слід зазначити також теми, винесені на самостійне вивчення

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

Загальний обсяг *90 год.*[2], в тому числі (вибрати необхідне):
Лекцій – **14** *год.*
Семінари – **14** год.
Практичні заняття - ____ год.
Лабораторні заняття - ____ год.
Тренінги - ____ год.
Консультації - __**1**_ год.
Самостійна робота - _**61**___ год.

9. Рекомендовані джерела[3]:

Основна: *(Базова)*

1. В.А.Скришевський, Фізичні основи напівпровідникових хімічних сенсорів, Київ, Київський університет, 2006, 190 с.
2. Бєлих І.А., Клещев М.Ф. Біологічні та хімічні сенсорні системи. / Харків: НТУ «ХПІ».- 2011.- 143 с.
3. Дзядевич С.В., Солдаткін О.П. Наукові та технологічні засади створення мініатюрних електрохімічних біосенсорів. / Київ: Наукова думка.– 2006.– 255с.
4. Навчальні посібники, які підготовлено розробником робочої програми із співавторами в рамках проекту TEMPUS №530785-TEMPUS-1-2012-1-PL-TEMPUS-JPCR:
   a. Valeriy Skryshevsky, Anatoliy Evtukh, Volodymyr Ilchenko, Anatoliy Shkavro, Volodymyr Verbitskiy, Microfabrication of IC and Microsystem Devices https://cad.lpnu.ua/picture/project/b4.pdf
   b. Valeriy Skryshevsky, Anatoliy Evtukh, Valeriy Lozovski, Oleg Tretyak,Advansed Materials of Micro and Nano Technology https://cad.lpnu.ua/picture/project/m5.pdf
   c. Valeriy Skryshevsky, Ivan Ivanov, Application of Microsystems Devices https://cad.lpnu.ua/picture/project/m7.pdf
   d. Valeriy Skryshevsky, Anatoliy Evtukh, Volodymyr Ilchenko, Advanced Nanosystems Design and Fabrication Techniques https://cad.lpnu.ua/picture/project/b4.pdf

Додаткова:

5. В.Ю.Первак, Ю.О.Первак, А.П.Шпак, К.Ю.Куницька . Фізика фотонних кристалів - К. Академперіодика, 2007..

10. Додаткові ресурси (за наявності)**:**

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

2. Сенсорна електроніка і мікросистемні технології, http://semst.onu.edu.ua/about
3. Porous Semiconductors – Science and Technology. – Spain: Proc. Int. Conf., 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008,2010,2012,2014,2016, 2018,2022

---

[2] **Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.**
[3] ***В тому числі Інтернет ресурси***

10. Термінологія та скорочення

- Chemical sensor – хімічний сенсор
- Biosensor – біосенсор
- DNA sensor – сенсор ДНК
- Electronic tongue, e-tongue, (electronic nose) – електронний язик (ніс)
- Transducer – трансдьюсер, перетворювач
- Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) – опалення, вентиляція та кондиціонування
- Volatile Organic Compound (VOC) – летюча органічна сполука
- Physical and chemical adsorption – фізична та хімічна адсорбція
- Adsorbate,adsorbent – адсорбат, адсорбент
- Redox molecule, oxide molecule – редокс-молекула, оксид-молекула
- Catalyst – каталізатор
- Threshould Limit Value (TLV) – гранично допустима концеентрація (ГДК)
- Particles per million (ppm), particles per billion (ppb) – кількість частинок на мільйон, частинок на мільярд
- Lab-on a chip – лабораторія на інтегральній мікросхемі
- Mirco-Total Analytical System(μ-TAS) – мікроповна аналітична система
- Field effect transistor (FET) – польовий транзистор
- GasFET – газовий польовий транзистор
- Ion-sensitive field effect transistor (ISFET) – іонно-селективний польовий транзистор
- Metal-isolator-semiconductor (MIS) – метал-діелектрик-напівпровідник (МДН)
- Metal-oxide-semiconductor(MOS) – метал-оксид-напівпровідник (МОН)
- Microelectromechanical system (MEMS) – мікроелектромеханічна система (МЕМС)
- Electrolyte-isolator-semiconductor (EIS) – електроліт-ізолятор-напівпровідник
- Capacitance-Voltage characteristics (C-V) – вольт-фарадна характеристика (ВФХ)
- Current-Voltage characteristics (I-V) – вольт-амперна характеристика (ВАХ)
- Light-Addressable Potentiometric Gas Sensors, (LAPS) – потенціометричний сенсор зі світловою адресацією
- Bulk Acoustic Wave sensor (BAW) – сенсор на об'ємних акустичних хвилях
- Quartz Micro Balance (QMB) – кварцовий мікробаланс
- Surface Acoustic Wave sensors (SAW) – сенсор на поверхневих акустичних хвилях
- Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS) – поверхнево-підсилене комбінаційне розсіяння світла
- Evanescent field sensor – сенсор затухаючого поля
- Wave guiding – хвилевід
- Surface plasmon resonace (SPR)sensor – сенсор на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР)
- Quantum dots (QD) – квантова точка (КТ)

- Photoluminescence (PL) quenching sensor – сенсор на основі гасіння фотолюмінесценції
- Bioimaging – біовізуалізація