

**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

Напівпровідникова сенсорика

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	4.0
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, дата)

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 фізичними явищами, які покладено в основу роботи напівпровідникових сенсорів, а також із сучасними досягненнями в області їх використання в біології, медицині, контролі навколишнього середовища, транспорті, науково-дослідній апаратурі та гаджетах.

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

Навчальна дисципліна «Напівпровідникова сенсорика» 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 нано-електроніки, 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, LAPS); люмінесцентні, оптичні та електричні трансдюсери на основі нанокристалічних напівпровідників, сенсори на основі полімерів, акустичних хвиль, термічних та оптичних явищ.

4. Завдання (навчальні цілі)

ІК: Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми прикладної фізики та наноматеріалів у галузі нанофізики та наноматеріалознавства, пов'язані із виготовленням, аналізом властивостей, використанням наноматеріалів, проектування та виготовлення нанорозмірних систем з використанням комп'ютерних технологій, що передбачає застосування теорій та методів фізики, математики та інженерії, програмування, вибраних розділів хімії та біології й характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях

ЗК 3 Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК 7 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК 9 Здатність працювати автономно.

ЗК 14 Здатність бути критичним і самокритичним.

ЗК 16 Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК 17 Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).

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.

ФК12 Вибірковий блок 2 Знання фізичних основ сучасного експериментального обладнання та вміння застосовувати їх до вибору, проектування, виготовлення та удосконалення вимірювальних приладів для застосувань у природничих науках.

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			
1	студент повинен знати :	<i>Лекції</i>	письмові модульні контрольні роботи, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	60%
1.1	Принцип роботи напівпровідникового електронного носу та хімічного сенсору. Основні характеристики хімічних сенсорів.			
1.2	Принцип дії польового транзистора як GasFET структури та pH метр на ISFET-структурі			
1.3	Метал-оксидні сенсори провідності порошкового та плівкового типу. Лямбда-сенсори			
1.4	Електропровідні полімери. Об'ємні акустичні хвилі. Поверхневі акустичні хвилі. Калориметричні сенсори. Сенсори на оптичному волокні			
1.5	Використання наноматеріалів та квантоворозмірних ефектів для сенсорики			
1.6	Біосенсори. Електрохімічні біосенсори			
2	студент повинен вміти :	<i>Лекції та лабораторні роботи</i>	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)			
2.3	Пояснювати каталітичні та адсорбційно-десорбційні процеси на поверхні твердого тіла			
3	Комунікація			
3.1	Вміти донести інформацію до аудиторії про досягнення та проблеми сучасних	<i>лекції</i>		
4	автономність та відповідальність	<i>самостійна робота</i>	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 (код)											
Програмні Результати навчання (назва)	1. 1	1. 2	1.3	1. 4	1. 5	1.6	2. 1	2. 2	2.3	3.1.	4.1
ПРН1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.	+	+	+	+	+	+	+		+		
ПРН3. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.			+		+		+	+	+	+	+
ПРН4. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.		+		+			+	+		+	
ПРН6. Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.							+	+		+	+
ПРН7 Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики.	+						+				
ПРН8 Вільно спілкуватися з професійних питань державною та англійською мовами усно та письмово			+			+				+	
ПРН14 Організувати результативну роботу індивідуально і як член команди.											
ПРН17 Представляти і захищати отримані наукові і практичні результати в усній та письмовій формі.		+		+			+			+	+
ПРН19-2 Вибірковий блок 2: На основі отриманих знань проектувати та створювати автоматизовані експериментальні установки для проведення досліджень в природничих науках.								+	+		
ПРН20-2 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 – 1.6- 60 %;
- результат навчання 2.1 – 2.3 -30%;
- результат навчання 3.1. 4.1 – 10%.

семестрове оцінювання: контроль здійснюється за таким принципом. Навчальний семестр має два змістові модулі: у змістовий модуль 1 (ЗМ1) входять теми 1-7, у змістовий модуль 2 (ЗМ2) входять теми 8-15. 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.

підсумкове оцінювання (у формі іспиту): форма іспиту – письмово-усна. Екзаменаційний білет іспиту складається із 2 питань, кожне питання оцінюється від 0 до 20 балів. Всього за іспит можна отримати від 0 до 40 балів, оцінка за іспит не може бути меншою 24 балів.

умови допуску до підсумкового іспиту: умовою допуску до 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 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:

	<i>Min. – балів</i>	<i>ЗМ1 – Max. – балів</i>	<i>Min. – балів</i>	<i>ЗМ2 – Max. – балів</i>
Модульна контрольна робота 1	15	30		
Модульна контрольна робота 2			15	30

Орієнтований графік оцінювання:

Розрахунок балів, які студент отримує при успішній здачі іспиту:

	Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Іспит	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<i>15</i>	<i>15</i>	<i>24</i>	<i>60</i>
Максимум	30	30	40	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	лабораторні	Самостійна робота
1	Напівпровідниковий хімічний сенсор, електронний ніс, електронний язик. Типи сенсорних сигналів. Основні характеристики хімічних сенсорів.	2		
2	Адсорбційно-десорбційні процеси на поверхні твердого тіла. Використання каталізаторів.	2		
3	Газові сенсори на основі метал-оксидів. Енергетична модель процесу адсорбції. Розрахунок концентрації адсорбованих молекул. Сенсори провідності порошкового та плівкового типу. Сенсори витоку метану та чадного газу. Лямбда-сенсори. Сенсори горіння.	4		
4	Принцип дії польового транзистора. Модель чутливості до водню Gas FET-сенсорів з паладієм. рН метр на ISFET-структурі. Сенсор на бар'єрі Шоттки та EIS сенсор. Метод Кельвіна. Потенціометричний сенсор зі світловою адресацією LAPS.	4	2	
5	Властивості полімерів. Сенсори на основі електропровідних полімерів. Використання полімерів для розпізнавання адсорбованих молекул. Електрохімічні трансдусери. Електрохімічні методи аналізу: потенціометрія, вольтаметрія, амперометрія, кулометрія.	2	2	
6	Об'ємні акустичні хвилі. Кварцовий мікробаланс QMB. Сенсори на поверхневих акустичних хвилях SAW. Гібридні мембранні структури.	4		
7	Калориметричні сенсори. Мембранні сенсори. Біполярна транзисторна структура як калориметричний сенсор. РТАТ сенсор. Структура з плаваючою мембраною. Термічний сенсор вологості.	2		
	<i>Контрольна робота 1</i>			
	<i>Всього</i>	20	4	30
8	Сенсори на оптичному волокні. Оптод. Використання поверхнево-підсиленого комбінаційного розсіяння світла SERS для сенсорів. Оксиметр.	2	2	
9	Поверхневий плазмонний резонанс SPR. Конфігурації Отто та Кретцмана для SPR сенсорів. Мікрофлюїдні системи.	2		
10	Розмірно квантування в кремнії. Технологія отримання, морфологічні, структурні, оптичні та люмінесцентні властивості нанокремнію	4		
11	Електропровідність порушеного Si. Вплив адсорбції на електричні властивості. Конструктивні особливості та характеристики оптичних, люмінесцентних, резистивних, конденсаторних та бар'єрних сенсорів на нанокремнії.	4	2	

12	Біосенсори. Біорозпізнавання та біометаболізм. Імобілізація. Біомембрани. Рівняння Міхаеліса-Ментона. Сенсори на глюкозу та мочевину. Як розробити сенсор ДНК?	4		
13	Використання наноматеріалів та квантоворозмірних ефектів для сенсорики. Вуглецеві нано сполуки та сенсори на їх основі. Поняття про тераностику та біоімеджинг. Флюоресцентні мітки для біоімеджингу.	2	2	
14	Магнітні сенсори та механічні сенсори фізичних величин.	2		
15	Атенюатори та методи обробки сигналів сенсорних систем. Метод головних компонент	2		
	Підсумкова модульна контрольна робота чи			
	<i>Всього</i>	22	6	38
	ВСЬОГО¹	42	10	68

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

Загальний обсяг 30 год., в тому числі (вибрати необхідне):

Лекцій – **42 год.**

Практичні заняття - **0 год.**

Лабораторні заняття - **10 год.**

Консультації - **___ год.**

Самостійна робота - **68_ год.**

9. Рекомендовані джерела:

Основна: (Базова)

1. В.А.Скришевський, Фізичні основи напівпровідникових хімічних сенсорів, Київ, Київський університет, 2006, 190 с.
2. Дзядевич С.В., Солдаткін О.П. Наукові та технологічні засади створення мініатюрних електрохімічних біосенсорів. / Київ: Наукова думка.– 2006.– 255с.
3. Навчальні посібники, які розроблено в рамках проекту TEMPUS №530785-TEMPUS-1-2012-1-PL-TEMPUS-JPCR <http://cad.lp.edu.ua/ua/project>
- 4.1 Valeriy Skryshevsky, Anatoliy Evtukh, Volodymyr Ilchenko, Anatoliy Shkavro, Volodymyr Verbitskiy, Microfabrication of IC and Microsystem Devices
- 4.2 Valeriy Skryshevsky, Anatoliy Evtukh, Valeriy Lozovski, Oleg Tretyak, Advanced Materials of Micro and Nano Technology
- 4.3 Valeriy Skryshevsky, Ivan Ivanov, Application of Microsystems Devices
- 4.4 Valeriy Skryshevsky, Anatoliy Evtukh, Volodymyr Ilchenko, Advanced Nanosystems Design and Fabrication Techniques
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2 т. – М.: Мир, 1981.

Додаткова:

5. S.M.Sze, Semiconductor Sensors, Wiley, New York, 1996.
6. В.Ю.Первак, Ю.О.Первак, А.П.Шпак, К.Ю.Куницька . Фізика фотонних кристалів - К. Академперіодика, 2007..

10. Додаткові ресурси (за наявності):

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

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>
3. Porous Semiconductors – Science and Technology. – Spain: Proc. Int. Conf., 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008,2010,2012,2014,2016.