

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Інженерного навчально-наукового
інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ

Наталія Метеленко
(прізвище, ім'я)

ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ НАНОЕЛЕКТРОНІКИ
(назва навчальної дисципліни)
РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки магістра
(назва освітнього ступеня)

очної (денної) та заочної (дистанційної) форм здобуття освіти
спеціальності 176 Мікро-та наносистемна техніка
(шифр, назва спеціальності)

спеціалізації / предметної спеціальності _____
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма Мікроелектронні інформаційні системи
(назва)

Укладач / Укладачі: Світанько М.В., кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент
кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
(П.Б, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено
на засіданні кафедри електроніки,
інформаційних систем та програмного
забезпечення .

Протокол № 1 від "28" серпня 2023 р.
Завідувач кафедри

mf.
(підпис)

Т.В. Критська
(ініціали, прізвище)

Погоджено:
Гарант ОП

mf.
(підпис)

О.Ю.Небеснюк
(ініціали, прізвище)

Ухвалено науково-методичною радою
Інженерного навчально-наукового інституту
ім.Ю.М. Потебні

Протокол № 1 від "30" серпня 2023 р.
Голова науково-методичної ради

Шарапова
(підпис)

Т.А. Шарапова
(ініціали, прізвище)

Погоджено:
Відповідальний за секцію «Технічні науки»

Безверхий
(підпис)

А.І.Безверхий
(ініціали, прізвище)

2023 рік

1. Опис навчальної дисципліни

1	2	3	
Галузь знань, спеціальність, освітня програма рівень вищої освіти	Нормативні показники для планування і розподілу дисципліни на змістові модулі	Характеристика навчальної дисципліни	
		очна (денна) форма здобуття освіти	заочна (дистанційна) форма здобуття освіти
Галузь знань 17 "Електроніка, автоматизація та електронні комунікації"	Кількість кредитів – 3	Вибіркова	
		Цикл дисциплін Вільний вибір студента в межах університету (вказати цикл, до якого належить програма, відповідно до ОПП та навчального плану)	
Спеціальність 176 "Мікро- та наносистемна техніка"	Загальна кількість годин – 90	Семестр:	
Освітньо-професійна програма Мікроелектронні інформаційні системи		Змістових модулів – 4	3 -й
	Лекції		
	22 год.		6 год.
	Лабораторні		
Рівень вищої освіти: магістерський	Кількість поточних контрольних заходів – 11	Самостійна робота	
		68 год.	84 год.
		Вид підсумкового семестрового контролю: залік	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни «Тенденції та проблеми сучасної наноелектроніки» є засвоєння теоретичних знань з основ моделювання та розробки алгоритмів сучасних технологічних процесів по творенню нанорозмірної компонентної бази електроніки.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Тенденції та проблеми сучасної наноелектроніки» є:

- отримання знань із фізичних основ роботи, конструкції та технології виготовлення, основних параметрів і області використання нанорозмірних приладів електроніки;
- уміння змоделювати процеси, що відбуваються при роботі в нанорозмірних приладах електроніки,
- отримати навички із проектування приладів наноелектроніки.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути таких результатів навчання (знання, уміння тощо) та компетентностей:

Заплановані робочою програмою результати навчання та компетентності	Методи і контрольні заходи
1	2
<p>Інтегральні компетентності: ІК1. Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у галузі професійної діяльності з мікро- та наносистемної техніки або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.</p>	<p>Методи: Наочні методи (схеми, моделі, алгоритми). Словесні методи (лекція, пояснення, робота з підручником). Практичні методи (творчі завдання, контрольні, складання схем і алгоритмів). Логічні методи (індуктивні, дедуктивні, створення проблемної ситуації). Проблемно-пошукові методи (репродуктивні). Метод формування пізнавального інтересу (навчальна дискусія, створення цікавих ситуацій).</p>
<p>Загальні компетентності: ЗК5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).</p>	<p>Методи: Наочні методи (схеми, моделі, алгоритми). Словесні методи (лекція, пояснення, робота з підручником). Практичні методи (творчі завдання, контрольні, складання схем і алгоритмів). Логічні методи (індуктивні, дедуктивні, створення проблемної ситуації). Проблемно-пошукові методи (репродуктивні). Метод формування пізнавального інтересу (навчальна дискусія, створення цікавих ситуацій).</p>
<p>Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:</p>	<p>Методи: Дослідницький (самостійна робота,</p>

<p>СК4. Здатність розробляти, обґрунтовано вибирати і використовувати сучасні методи обробки та аналізу сигналів в мікро- і наноелектронних приладах та системах.</p> <p>СК5. Здатність аргументувати вибір методів розв'язання складних задач і проблем мікро- та наносистемної техніки, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення.</p> <p>СК6. Здатність користуватися сучасними системами пошуку та аналізу науково-технічної інформації, проводити патентний пошук і дослідження та здійснювати захист інтелектуальної власності.</p>	<p>проекти).</p> <p>Наочні методи (схеми, моделі, алгоритми).</p> <p>Проблемно-пошукові методи (репродуктивні).</p> <p>Практичні методи (творчі завдання, контрольні, складання схем і алгоритмів).</p> <p>Логічні методи (індуктивні, дедуктивні, створення проблемної ситуації).</p> <p>Метод формування пізнавального інтересу (навчальна дискусія, створення цікавих ситуацій).</p>
<p>Програмні результати навчання:</p> <p>P1. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах.</p> <p>P5. Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері мікро- та наноелектроніки, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів.</p> <p>P8. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її.</p> <p>P10. Забезпечувати професійний розвиток членів колективу з урахуванням світового досвіду і вимог до персоналу в сфері розробки та експлуатації мікро- та наноелектронних систем.</p> <p>P12. Будувати і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів мікро- та наноелектроніки.</p> <p>P16. Практикувати інформаційний та науковий пошук, використовувати бази даних і знань, критично осмислювати та інтерпретувати результати, робити висновки та формувати напрями дослідження з урахуванням вітчизняного й закордонного досвіду</p>	<p>Методи контролю і самоконтролю (усний, письмовий, програмований).</p> <p>Контрольні заходи:</p> <p>теоретичне тестування за змістовим модулем.</p>

Міждисциплінарні зв'язки. Курс «Поверхневі та контактні явища напівпровідникових структур» є логічним продовженням курсів циклу загальної підготовки ЗП1 (Професійно-орієнтований практикум іноземною мовою), ЗП2 (Програмне забезпечення інформаційних систем), ЗП3 (Патентознавство та інтелектуальна власність).

Набуті при вивченні даного курсу знання необхідні для подальшого проходження виробничої практики (ППС4) та успішного захисту магістерської дипломної роботи (ППС5).

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Сучасний стан еволюції мікроелектронних структур у наноелектронні. Квантово-механічні основи фізичних процесів у наноструктурах. Нові наноелектронні компоненти.

Проблеми мікромініатюризації. Наночастинка та наноструктура з точки зору фізики ізольованих нанооб'єктів. Фулерени та нанотрубки. Гіпотеза де Бройля. Рівняння Шредінгера. Елементи зонної теорії твердого тіла. Проблеми кремнієвої наноелектроніки. Одноелектронні транзистори. Спінтроніка. Використання нових наноелектронних елементів в запам'ятовуючих та логічних пристроях. Гібридні напівпровідникові схеми із нанопристроями. Квантові коміркові автомати.

Змістовий модуль 2. Тенденції технології отримання наночастинок. Методи формування наноструктур. Сучасні технології виготовлення нанорозмірних тонких плівок.

Загальні характеристики технології наночастинок. Фізичні та хімічні методи отримання наночастинок. Методи локального зондового окислення. Метод випаровування. Молекулярно-променева епітаксія. Нанесення атомних шарів. Метод Ленгмюра-Блоджет. Іонне розпилення. Магнетронні системи формування тонких наночастинок. Метод високочастотного розпилення.

Змістовий модуль 3. Методи рентгеноструктурного аналізу та електронна мікроскопія наноструктур. Сучасні методи скануючої зондової мікроскопії та спекторскопії наноструктур. Сучасні оптичні методи аналізу наноструктур.

Рентгеноструктурний аналіз. Електронний мікроскоп. Катодолюмінісценція. Основи тунельної мікроскопії. Тунельний мікроскоп. Зондовий мікроскоп. Оптична інфрачервона мікроскопія. Раманівська спекторскопія.

Змістовий модуль 4. Нові матеріали для наноелектроніки. Перспективи створення нових наноелектронних компонент

Надпровідні фулерени. Нонокристали для фотоніки. Наносегнетоелектрики. Наноферромагнетики. Наночастинки у технології пристроїв генерування енергії. Нанотранзистори на нанотрубках і квантові інтегральні схеми. Лазери на квантових точках. Органічна наноелектроніка. Оптико-механічні перетворювачі та наномашини.

4. Структура навчальної дисципліни

Змістовий модуль	Усього годин	Аудиторні (контактні) години						Самостійна робота, год		Система накопичення балів			
		Усього годин		Лекційні Заняття, год		Семінарські/ Практичні /лабораторні заняття, год				Теор. зав-ня, к-ть балів	Практ. зав-ня, к-ть балів	Усього балів	
		о/д ф.	з/ди ст ф.	о/д ф.	з/дист ф.	о/д ф.	з/дист ф.						
1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	15	5	2	5	2	-	-	10	13	18	-	18	
2	15	6	2	6	2	-	-	9	13	18	-	18	
3	15	5	1	5	1	-	-	10	14	18	-	18	
4	15	6	1	6	1	-	-	9	14	6	-	6	
Усього за змістові модулі	60	22	6	22	6	-	-	38	54	60	-	60	
Підсумковий семестровий контроль залік	30							30	30	20	20	40	
Загалом		90									100		

5. Теми лекційних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		о/д ф.	з/дист ф.
1	2	3	4
1	Сучасний стан еволюції мікроелектронних структур у наноелектронні	2	1
2	Квантово-механічні основи фізичних процесів у наноструктурах	2	1
3	Нові наноелектронні компоненти	1	
4	Тенденції технології отримання наночастинок	2	1
5	Методи формування наноструктур	2	
6	Сучасні технології виготовлення нанорозмірних тонких плівок	2	1
7	Методи рентгеноструктурного аналізу та електронна мікроскопія наноструктур	2	
8	Сучасні методи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії наноструктур	2	1
9	Сучасні оптичні методи аналізу наноструктур	1	
10	Нові матеріали для наноелектроніки	3	
11	Перспективи створення нових наноелектронних компонент	3	1
Разом		22	6

6. Теми лабораторних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		о/д ф.	з/дист ф.
1	2	3	4
Разом			

7. Види і зміст поточних контрольних заходів

№ змістового модуля	Види поточних контрольних заходів	Зміст поточного контрольного заходу	*Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
1	Тест 1	Питання для підготовки: Проблеми мікромініатюризації. Наночастинка та наноструктура з точки зору фізики ізольованих наноб'єктів. Фулерени та нанотрубки.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 6. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	6
	Тест 2	Питання для підготовки: Гіпотеза де Бройля. Рівняння Шредингера. Елементи зонної теорії твердого тіла.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 6. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	6
	Тест 3	Питання для підготовки: Проблеми кремнієвої наноелектроніки. Одноелектронні транзистори. Спінтроніка. Використання нових наноелектронних елементів в запам'ятовуючих та логічних пристроях. Гібридні напівпровідникові схеми із нанопристроями. Квантові коміркові автомати.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 6. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	6
Усього за ЗМ 1	3			18
2	Тест 4	Питання для підготовки: Загальні характеристики технології наночастинок. Фізичні та хімічні методи отримання наночастинок.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 6. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	6
	Тест 5	Питання для підготовки:	Тестові питання	6

		Методи локального зондового окислення. Метод випаровування. Молекулярно-променева епітаксія. Нанесення атомних шарів. Метод Ленгмюра-Блоджет.	оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 6. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	
	Тест 6	Питання для підготовки: Іонне розпилення. Магнетронні системи формування тонких наночарів. Метод високочастотного розпилення.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 6. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	6
Усього за ЗМ 2	3			18
3	Тест 7	Питання для підготовки: Рентгеноструктурний аналіз. Електронний мікроскоп. Катодолюмінісценція.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 6. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	6
	Тест 8	Питання для підготовки: Основи тунельної мікроскопії. Тунельний мікроскоп. Зондовий мікроскоп.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 6. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	6
	Тест 9	Питання для підготовки: Оптична інфрачервона мікроскопія. Раманівська спектроскопія.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 6. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	6
Усього за ЗМ 3	3			18
4	Тест 10	Питання для підготовки: Надпровідні фулерени. Нонокристали для фотоніки. Наносегнетоелектрики. Наноферромагнетики. Наночастинки у технології пристроїв генерування енергії.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 3. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	3
	Тест 11	Питання для підготовки: Нанотранзистори на нанотрубках і квантові інтегральні схеми. Лазери на квантових точках. Органічна наноелектроніка. Оптико-механічні	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 3. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	3

		перетворювачі та наномашини.		
Усього за ЗМ 4	2			6
Усього за змістові модулі	11			60

*(критерії оцінювання за електронним посиланням)

8. Підсумковий семестровий контроль

Форма	Види підсумкових контрольних заходів	Зміст підсумкового контрольного заходу	Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
Залік	Тестування	Питання для підготовки: див. питання до ЗМ 1–4 у таблиці 7. Тестування передбачає обмежену у часі (40 хвилин) відповідь на теоретичні питання. У разі дистанційної форми навчання екзамен проходить у тестовій формі через платформу Moodle.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 2 бали	20
	Реферативна робота	Аналітичний огляд за запропонованою темою	Огляд містить три розділи: 1 – постановка проблеми (6 балів); 2 – аналіз існуючих методів вирішення проблеми (6 балів); 3 – запропонований власний спосіб вирішення проблеми із мотивованими висновками – 8 балів	20
Усього за підсумковий семестровий контроль	2			40

9. Рекомендована література

Основна:

1. Павлік С. І, Зубко Є. І. Основи наноелектроніки. Навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 6.05080102 «Мікро-та наноелектроніка». Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 50 с.
2. Готра З. Ю. Субмікронні та нанорозмірні структури наноелектроніки. Підручник / З. Ю. Готра, І. І. Григорак, Б. А. Лукіянець, В. П. Махній, С. В. Павлов, Л. Ф. Політанський, Ежи Потенські. Чернівці : Видавництво та друкарня «Технологічний центр». 2014. 839 с.
3. Світанько М. В., Верьовкін Л. Л., Хрипко С. Л. Лазерна техніка та технології. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : 2018. 40 с.

Додаткова:

1. Hari Singh Nalva. Nanostructured materials and nanotechnology // Academic Press. 2002. 834 с.
2. Горячко А. М., Кулик С. П., Прокопенко О. В. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії : Навчальний посібник / за ред. С. П. Кулика та О. В. Прокопенка. Київ : Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2012. 170 с.
3. Болеста І. М. Фізика твердого тіла: Навчальний посібник. Львів : Видавн. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. 480 с.
4. Вакарчук І. О. Квантова механіка Підручник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2004. 784 с.
5. Висоцький В. І. Атомна та ядерна фізика у прикладах і запитаннях: навчальний посібник / В. І. Висоцький, С. А. Дяченко, Г. Ю. Карлаш, В. С. Овечко, О. В. Прокопенко, Н. П. Харченко; за ред. В. І. Висоцького, В. С. Овечка. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2011. 511 с.
6. Юхновський І. Р. Основи квантової механіки: Навч. посібник. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Либідь, 2002. 392 с.
7. Мелков Г. А. Криогенна електроніка: Навчальний посібник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2003. 87 с.
8. Binnig G., Rohrer H. Scanning tunneling microscopy – from birth to adolescence // Reviews of Modern Physics. 1987. Vol. 59, № 3. P. 615-625.
9. Binnig G., Rohrer H., Gerber Ch., Weibel E. Surface studies by scanning tunneling microscopy // Physical Review Letters. 1982. Vol. 49, № 1. P. 57-61.
10. Deneva M., M. Nenchev, Development of original, simple quantum electronics device with emission passively frequency locked at atomic absorption line, // Proc. Intern. Confer. "Laser technology and Lasers", Bulg., 2005, 37- 45.
11. Nenchev M., Deneva M., Yasser A., Suat T., Chassagne L., Himbert M., Quantum electronics and optical techniques and devices for applications in biology, atmosphere monitoring, optical communications and sciences // Journal of the Technical University Sofia Plovdiv branch, Bulgaria "Fundamental Sciences and Applications" Vol. 19, 2013. 7 – 22.
12. Пека Г. П., Стріха В. І. Поверхневі та контактні явища у напівпровідниках. Київ : Либідь, 1992. 240 с.
13. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури. Навч. посібник. Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. 580с.
14. Заячук Д. М. Низькорозмірні структури і надгратки. Навч. посібник. Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2006. 220с.
15. Фодчук І. М., Баловсяк С. В. Діагностика поверхні твердого тіла. Загальний стан проблеми та променеві методи. Навч. посібник. Чернівці : Рута, 2007. 288с.

Інформаційні ресурси:

1. Наукова бібліотека Запорізького національного університету. URL: <http://library.znu.edu.ua/> (дата звернення: 01.08.2023)
2. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Серія: Радіотехніка URL : https://kpi.ua/web_radap (дата звернення: 01.08.2023)
3. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології URL <https://www.imp.kiev.ua/nanosys/ua/index.html> (дата звернення: 01.08.2023)
4. AEÜ – International Journal of Electronics and Communications URL : <https://is.gd/etxIXh> (дата звернення: 01.08.2023).
5. Fundamentals and Properties of Multifunctional Nanomaterials Cambridge : Elsevier, 2021. 622 p. URL : <https://is.gd/FtRDQ8> (дата звернення: 01.08.2023)
6. Composites Part B: Engineering URL : <https://is.gd/tBNNMx> (дата звернення: 01.08.2023)
7. International Journal of Solids and Structures URL : <https://bit.ly/3BJDS3O> (дата звернення: 01.08.2023)
8. Optics & Laser Technology URL: <https://bit.ly/3DHwyGt> (дата звернення: 01.08.2023)
9. Physical Communication URL : <https://bit.ly/3oZH4Vg> (дата звернення: 01.08.2023)
10. Proteus <http://www.labcenter.com> (дата звернення: 01.08.2023)