

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



ЗАТВЕЖУЮ

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

Наталія Метеленко

(підпис)

(прізвище, ім'я)

ТВЕРДОТІЛЬНІ КОМПОНЕНТИ МІКРО- ТА НАНОЕЛЕКТРОНІКИ
(назва навчальної дисципліни)
РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки бакалавра

(рівень освіти)

очної (денної) та заочної (дистанційної) форм здобуття освіти
спеціальності 153/176 Мікро-та наносистемна техніка

(код спеціальності)

спеціалізації / предметної спеціальності _____

(широта)

освітньо-професійна програма Мікро-та наносистемна техніка

Укладач / Укладачі: Ніконова З.А., кандидат технічних наук, доцент, професор Кафедри
електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

(П.І.Б. пов'язати з підписом у дні підпису)

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

Протокол № 9 від 19 грудня 2023
р. Завідуюча кафедри

Г.В. Критська
(підпис, прізвище)

Погоджено:
Гарант ОП

М.В.Світанько
(підпис, прізвище)

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

Протокол № 5 від 27 грудня 2023р.

Голова науково-методичної ради

Т.Л. Шаропова
(підпис)

Погоджено:

Відповідальний за секцію «Технічні науки»

А.І. Безвсерхий
(підпис)

2024 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 <u>15 Автоматизація та приладобудування</u>	Кількість кредитів – 3	Обов'язкова	
		Цикл дисциплін Професійної підготовки Освітньої програми	
Спеціальність <u>153 Мікро-та наносистемна техніка</u>	Загальна кількість годин – 90	Семестр:	
		4 -й	6 -й
Освітньо-професійна програма <u>Мікро-та наносистемна техніка</u>	Змістових модулів – 4	Лекції	
		16 год.	8 год.
		Лабораторні	
		-	-
Рівень вищої освіти: бакалаврський	Кількість поточних контрольних заходів – 8	Практичні	
		16 год.	4 год.
		Самостійна робота	
		58 год.	78 год.
		Вид підсумкового семестрового контролю: залік	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання дисципліни «Твердотільні компоненти мікро- та нано електроніки» є надання студентам уяви про фізику роботи, конструкцію та принцип дії напівпровідникових приладів і інтегральних схем; вплив факторів на параметри та характеристики пристроїв і систем мікро- та наносистемної техніки; види технологій і їх застосування; характеристики та параметри активних приладів мікро- та наносистемної техніки, методи вдосконалення їх функціональних можливостей та технологічних особливостей виготовлення.

Завданням дисципліни є ознайомлення студентів з принципами функціонування основних приладів і систем мікро- та наносистемної техніки;

сучасної електроніки; фізичними та математичними моделями приладів при різних умовах роботи; основними способами та видами методик для дослідження пристроїв і систем мікро- та наносистемної техніки; методами розрахунку та вдосконалення характеристик, параметрів та конструкцій елементів твердотільної та оптичної електроніки, наноелектроніки.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент **зможе:**

- застосовувати знання принципів дії пристроїв і систем мікро- та наносистемної техніки при їхньому проектуванні та експлуатації;
- застосовувати знання і розуміння фізики, відповідні теорії, моделі та методи для розв'язання практичних задач синтезу пристроїв мікро- та наносистемної техніки;
- оцінювати характеристики та параметри матеріалів пристроїв мікро- та наносистемної техніки, знати та розуміти основи твердотільної та оптичної електроніки, наноелектроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, мікропроцесорної техніки;
- застосовувати навички планування та проведення експерименту для перевірки гіпотез та дослідження явищ мікро- та наноелектроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, складати схеми пристроїв, аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати;
- будувати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об'єктів, використовувати їх при розробці нової мікро- та наносистемної техніки та виборі оптимальних рішень;
- вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення.

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
Вид компетентності	
1	2
<p>Загальні компетентності:</p> <p>– ЗК-1.Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;</p>	<p>Методи:</p> <p>Наочні методи (стенди, схеми, моделі, програмні продукти).</p> <p>Словесні методи (лекція, пояснення, робота з підручником).</p> <p>Практичні методи (індивідуальні та тестові завдання, контрольні, розробка</p>

	<p>схем приладів за допомогою сучасних програмних продуктів). Логічні методи (індуктивні, дедуктивні, створення проблемної ситуації). Проблемно-пошукові методи (репродуктивні). Метод формування пізнавального інтересу (навчальна дискусія, створення та обговорення наукових робіт та цікавих винаходів).</p>
<p>Спеціальні компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> – СК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки – СК4. Здатність застосовувати відповідні наукові та інженерні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, комп'ютерні мережі, бази даних та Інтернет-ресурси для розв'язання професійних задач в галузі мікро- та наносистемної техніки. – СК5. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей. – СК7. Здатність розв'язувати інженерні задачі в галузі мікро- та наносистемної техніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації. – СК8. Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів мікро- та наносистемної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем. – СК10. Здатність розуміти та застосовувати технологічні принципи виробництва, випробування, експлуатації та ремонту мікро- та наносистемної техніки та біомедичного обладнання СК21. Здатність розв'язувати інженерні задачі в галузі мікро- та наносистемної техніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації. – СК12. Здатність використовувати знання з 	<p>Методи: Дослідницький (наукова самостійна робота, проекти, макети виробів). Наочні методи (стенди, схеми, моделі, програмні продукти). Проблемно-пошукові методи (репродуктивні). Практичні методи (індивідуальні та тестові завдання, контрольні, розробка схем приладів за допомогою сучасних програмних продуктів). Логічні методи (індуктивні, дедуктивні, створення проблемної ситуації). Метод формування пізнавального інтересу (навчальна дискусія, створення та обговорення наукових робіт та цікавих винаходів).</p>

<p>оптичної аналогової та цифрової схемотехніки, оптоелектроніки, фотовольтаїки та геліоелектроніки</p>	
<p>Програмні результати навчання:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ПРН1. Застосовувати знання принципів дії пристроїв і систем мікро- та наносистемної техніки при їхньому проектуванні та експлуатації. – ПРН3. Застосовувати знання і розуміння фізики, відповідні теорії, моделі та методи для розв’язання практичних задач синтезу пристроїв мікро- та наносистемної техніки. – ПРН4. Оцінювати характеристики та параметри матеріалів пристроїв мікро- та наносистемної техніки, знати та розуміти основи твердотільної та оптичної електроніки, наноелектроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, мікропроцесорної техніки. – ПРН6. Застосовувати навички планування та проведення експерименту для перевірки гіпотез та дослідження явищ мікро- та наноелектроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, складати схеми пристроїв, аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати. – ПРН8 Будувати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об’єктів, використовувати їх при розробці нової мікро- та наносистемної техніки та виборі оптимальних рішень. – ПРН14. Вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення. 	<p>Методи контролю і самоконтролю (усний, письмовий, програмований, лабораторно-практичний). Контрольні заходи: теоретичне тестування за змістовим модулем.</p>

Міждисциплінарні зв’язки. Курс «Твердотільні компоненти мікро – та наноелектроніки є логічним продовженням курсу «Технологічні основи електроніки». Набуті при вивченні даного курсу знання необхідні для подальшої здачі атестаційного екзамена.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1

Мета та задачі навчальної дисципліни. Основні співвідношення для розрахунку приладів твердотільної електроніки. Система фундаментальних рівнянь. Електронно-дірковий перехід та фізичні процеси в ньому. Утворення потенційного бар'єру в p-n-переході. Статичні вольт-амперні характеристики діодів з довгою і короткою базою при малих струмах. Диференційні параметри: опір, бар'єрна та дифузійна ємність – фізичний зміст та розрахунок.

Змістовий модуль 2

Види, призначення, принцип дії та конструкція діодів.. Механізми пробою, засоби збільшення напруги пробою. Тунельні діоди, їх технологічні та конструктивні особливості, параметри, характеристики. Аналіз перехідних процесів при малих і великих рівнях сигналу. Прилади з бар'єром Шоттки, ідеальні та реальні контакти. Основні характеристики діодів метал-напівпровідник, бар'єрна ємність, вплив стану межі розподілу контакту на характеристику контакту. Омичні контакти. Діоди Ганна. Основні експлуатаційні характеристики. Конструкції та застосування приладів.

Змістовий модуль 3

Структура і принцип дії біполярного транзистора. Режим роботи і схеми включення транзисторів. Статичні вольт -амперні характеристики та основні параметри. Формальні і фізичні схеми моделі транзисторів. Пробій транзисторів. Перехідні процеси. Основні конструкції та застосування транзисторів. Принцип дії підсилювального каскаду на БТ. Вплив ємностей переходів і розподільного опору бази на частотні властивості транзистора. Робота БТ у ключовому режимі. Одноперехідний транзистор. Високочастотні малопотужні БТ. Потужні БТ. Особливості роботи БТ.

Змістовий модуль 4

Польові прилади з управляючим p-n-переходом. Основні статичні характеристики та їх параметри. Пробій транзисторів. Базова структура і принцип роботи МДН- транзисторів. Розрахунок вольт-амперних характеристик і основних параметрів МДН- транзисторів. Режимми роботи і схеми його включення. Динамічний режим роботи польових транзисторів. Підсилювальні каскади на польовому транзисторі. Їх

частотні властивості. Структура тиристорів. Аналіз процесів переключення тиристорів на основі двотранзисторної схеми включення. Різновиди тиристорів, основні конструкції та застосування, параметри та характеристики. Оптоелектронні напівпровідникові прилади.

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		о/д ф.	з/дист ф.	Теор. зав-ня, к-ть балів	Практ. зав-ня, к-ть балів	Усього балів
1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	15	8	3	4	2	4	2	7	12	4	12	16
2	15	8	3	4	2	4		7	12	4	10	14
3	15	8	3	4	2	4	2	7	12	4	12	16
4	15	8	3	4	2	4		7	12	4	10	14
Усього за змістові модулі	60	32	12	16	8	16	4	28	48	16	44	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	Мета та задачі навчальної дисципліни. Основні співвідношення для розрахунку приладів твердотільної електроніки. Система фундаментальних рівнянь. Електронно-дірковий перехід та фізичні процеси в ньому. Утворення потенційного бар'єру в р-п-переході. Статичні вольт-амперні характеристики діодів з довгою і короткою базою при малих струмах. Диференційні параметри: опір, бар'єрна та дифузійна ємність – фізичний зміст та розрахунок.	4	2
2	Види, призначення, принцип дії та конструкція діодів.. Механізми пробою, засоби збільшення напруги пробою. Тунельні діоди, їх технологічні та конструктивні особливості, параметри,	4	2

	характеристики. Аналіз перехідних процесів при малих і великих рівнях сигналу. Прилади з бар'єром Шотткі, ідеальні та реальні контакти. Основні характеристики діодів метал-напівпровідник, бар'єрна ємність, вплив стану межі розподілу контакту на характеристику контакту. Омічні контакти. Діоди Ганна. Основні експлуатаційні характеристики. Конструкції та застосування приладів.		
3	Структура і принцип дії біполярного транзистора. Режим роботи і схеми включення транзисторів. Статичні вольт-амперні характеристики та основні параметри. Формальні і фізичні схеми моделі транзисторів. Пробій транзисторів. Перехідні процеси. Основні конструкції та застосування транзисторів. Принцип дії підсилювального каскаду на БТ. Вплив ємностей переходів і розподільного опору бази на частотні властивості транзистора. Робота БТ у ключовому режимі. Одноперехідний транзистор. Високочастотні малопотужні БТ. Потужні БТ. Особливості роботи БТ.	4	2
4	Польові прилади з управляючим р-n-переходом. Основні статичні характеристики та їх параметри. Пробій транзисторів. Базова структура і принцип роботи МДН- транзисторів. Розрахунок вольт-амперних характеристик і основних параметрів МДН-транзисторів. Режим роботи і схеми його включення. Динамічний режим роботи польових транзисторів. Підсилювальні каскади на польовому транзисторі. Їх частотні властивості. Структура тиристорів. Аналіз процесів переключення тиристорів на основі двотранзисторної схеми включення. Різновиди тиристорів, основні конструкції та застосування, параметри та характеристики. Оптоелектронні напівпровідникові прилади.	4	2
Разом		16	8

6. Теми практичних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		о/д ф.	з/дист ф.
1	2	3	4
1	Рівняння Максвелла для однорідних та ізотропних середовищ	4	2
2	Розрахунок параметрів діодних структур та НВЧ-діодів (діод Ганна)	4	

3	Розрахунок параметрів біполярних транзисторів та діодів Шотткі	4	2
4	Розрахунок ВАХ та основних параметрів МОН-транзисторів	4	
Разом		16	4

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: Система фундаментальних рівнянь. Електронно-дірковий перехід та фізичні процеси в ньому. Утворення потенційного бар'єру в р-п-переході. Статичні вольт-амперні характеристики діодів з довгою і короткою базою при малих струмах.	Тестові питання оцінюються: Із 6 відповідей обрати правильну. Кількість питань – 8. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	4
	Практичне завдання 1	Вимоги до виконання та оформлення: Практичне завдання у вигляді файлів MS Excel завантажено на сайт системи Moodle ЗНУ.	Кожне практичне завдання за змістовим модулем оцінюється від 1 до 12 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті завдання. Загальна максимальна сума балів визначається кількістю завдань в роботі.	12
Усього за ЗМ 1	2			16
2	Тест 2	Питання для підготовки: Аналіз перехідних процесів при малих і великих рівнях сигналу. Прилади з бар'єром Шотткі, ідеальні та реальні контакти. Основні характеристики діодів метал-напівпровідник, бар'єрна ємність, вплив стану межі розподілу контакту на характеристику контакту.	Тестові питання оцінюються: Із 6 відповідей обрати правильну. Кількість питань – 8. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	4

		Омічні контакти. Діоди Ганна.		
	Практичне завдання 2	Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота у вигляді файлів MS Excel завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Кожне завдання практичної роботи за змістовим модулем оцінюється від 1 до 10 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті завдання. Загальна максимальна сума балів визначається кількістю завдань в роботі.	10
Усього за ЗМ 2	2			14
3	Тест 3	Питання для підготовки: Структура і принцип дії біполярного транзистора. Режим роботи і схеми включення транзисторів. Статичні вольт -амперні характеристики та основні параметри. Формальні і фізичні схеми моделі транзисторів. Пробій транзисторів. Перехідні процеси. Основні конструкції та застосування транзисторів. Принцип дії підсилювального каскаду на БТ.	Тестові питання оцінюються: Із 6 відповідей обрати правильну. Кількість питань – 8. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	4
	Практичне завдання 3	Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота у вигляді файлів MS Excel завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Кожне практичне завдання за змістовим модулем оцінюється від 1 до 12 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті завдання. Загальна максимальна сума балів визначається кількістю завдань в роботі.	12
Усього за ЗМ 3	2			16
4	Тест 4	Питання для підготовки: Польові прилади з управляючим р-п-переходом. Основні	Тестові питання оцінюються: Із 6 відповідей обрати правильну.	4

		статичні характеристики та їх параметри. Пробій транзисторів. Базова структура і принцип роботи МДН- транзисторів. Розрахунок вольт-амперних характеристик і основних параметрів МДН-транзисторів. Режими роботи і схеми його включення. Динамічний режим роботи польових транзисторів. Підсилювальні каскади на польовому транзисторі	Кількість питань – 8. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	
	Практичне завдання 4	Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота у вигляді файлів MS Excel завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Кожне практичне завдання за змістовим модулем оцінюється від 1 до 10 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті завдання. Загальна максимальна сума балів визначається кількістю завдань в роботі.	10
Усього за ЗМ 4	2			14
Усього за змістові модулі	8			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 1–5 у таблиці 7. Тестування передбачає відповідь на теоретичні питання. У разі дистанційної форми навчання залік проходить у тестовій формі через платформу Moodle.	Тестові питання оцінюються: Із 6 відповідей обрати правильний варіант. Кількість питань – 40. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	20

	Письмова практична робота	Моделювання приладу за індивідуальним завданням		20
Усього за підсумков ий семестров ий контроль				40

9. Рекомендована література

Основна:

1. Гуртів В.А. Твердотільна електроніка. К.: Техносфера, 2017. 408 с.
2. Жеребцов І.П. Основи електроніки. К.: Енергоатом вид., 2015. 128с.
3. Ніконова З.А., Небеснюк О.Ю. Твердотільна електроніка: Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни: «Твердотільна електроніка». Запоріжжя: 2018. 35с.
- 4 .Ніконова З.А. Твердотільні компоненти мікро – та наноелектроніки : конспект лекцій «Твердотільні компоненти мікро – та наноелектроніки » для студ. спец. 153 «Мікро – та наносистемна техніка». Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2020. 95с.
- 5 Готра З.Ю. Фізичні основи електронної техніки. Львів: Бескид Біт. , 2017. 55с.
- 6 Баранський П.І. Напівпровідникова електроніка: довідник. Київ :Наукова думка, 2018. 358с.
- 7 Калніболотський Ю.М. Розрахунок та конструювання мікросхем. Київ: Вищ. школа, 2016. 121с.
- 8 Тугов Н.М. Напівпровідникові прилади . К.: Енергія, 1990. 166с.
- 9 Викулін І.М. Фізика напівпровідникових приладів, Харків: Радіо і зв'язок, 1990. 542с.
- 10 Матвійків М.Д. Елементна база електронних апаратів: підручник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2017р. 428с.

Додаткова:

1. Швець Є.Я Твердотільна електроніка: Інтерактивний лабораторний практикум з твердотільної електроніки. Запоріжжя : 2013. 95с.
2. Ніконова З.А., Небеснюк О.Ю., Ніконова А.О. Твердотільна електроніка : Навчальний посібник до курсового проекту з дисципліни: «Твердотільна електроніка». Запоріжжя: 2011. 100с.
3. Ніконова З.А., Небеснюк О.Ю. Твердотільна електроніка: конспект лекцій «Твердотільна електроніка». Запоріжжя: 2014. 95с.
4. Гусев В.Г. Електроніка . Київ: Вища школа, 1991.79с.
5. Терехов В.А. Задачник з електронних пристроїв . К.: Енергоатом вид., 1983. 288с.
6. Ляшко М.Н. Задачі та вправи з електроніки. Київ: Вища школа, 1992. 89с.
7. Степаненко І.П. Основи теорії транзисторів. К.: Енергія, 1997. 480с.
8. V.V. Odinsonov, G.Ya. Pavlov. New processing equipment for innovative technologies micro, nano - and radio electronics. Technology and de-signing in the electronic equipment, 2011. v.3. PP. 41 - 43.
9. . Green M. A. Third generation photovoltaics: solar cells for 2020 and beyond . Physic, 2012. Vol. E 14. PP. 65 - 70.

Інформаційні ресурси:

1. Наукова бібліотека Запорізького національного університету. URL: <http://library.znu.edu.ua/>
2. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/>
3. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/>
4. AnyLogic: імітаційне моделювання для бізнесу URL: <https://www.anylogic.com/>