

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. Потєбні ЗНУ


(підпис)

Наталія Метеленко
(прізвище, ім'я)

**ПОВЕРХНЕВІ ТА КОНТАКТНІ ЯВИЩА НАПІВПРОВІДНИКОВИХ
СТРУКТУР**

(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
(ПІБ, 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


(підпис)

Т.В. Критська
(ініціали, прізвище)

Погоджено:
Гарант ОП


(підпис)

О.Ю.Небеснюк
(ініціали, прізвище)

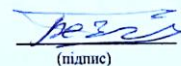
Ухвалено науково-методичною радою
Інженерного навчально-наукового інституту
ім.Ю.М. Потєбні

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


(підпис)

Т.А. Шарапова
(ініціали, прізвище)

Погоджено:
Відповідальний за секцію «Технічні науки»


(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 спеціальності (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		3 -й	3 -й
	Лекції		
	8 год.	6 год.	
	Змістових модулів – 4	Практичні	
Рівень вищої освіти: магістерський	Кількість поточних контрольних заходів – 9	8 год.	4 год
		Самостійна робота	
		74 год.	80 год.
		Вид підсумкового семестрового контролю: залік	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни «Поверхневі та контактні явища напівпровідникових структур» є засвоєння студентами чітких уявлень про теоретичні основи процесів, які протікають на поверхні напівпровідникових структур та при формуванні оптимальних за технологією контактних систем.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Поверхневі та контактні явища напівпровідникових структур» є:

- ознайомити здобувачів із основними методами формування поверхні напівпровідникових кристалів та сполук;
- ознайомити здобувачів із існуючими методами дослідження поверхні напівпровідника та методами практичних розрахунків;
- сформувати у здобувачів навички наукових розрахункових завдань по моделюванню нових з'єднань напівпровідників та впливу поверхневих явищ на їх властивості;
- надати здобувачам знань в області проектування експериментальних методів дослідження поверхневих та контактних явищ на поверхні напівпровідників.

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 (практичні лабораторні завдання, контрольні заходи, складання схем). Логічні методи (індуктивні, дедуктивні, створення проблемної ситуації). Проблемно-пошукові методи (репродуктивні). Метод формування пізнавального інтересу (навчальна дискусія, моделювання ситуацій практичного характеру).</p>
<p>Загальні компетентності: ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ЗК4. Здатність проводити дослідження на відповідному рівні. ЗК5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p>	<p>Методи: Наочні методи (схеми, моделі, алгоритми). Словесні методи (лекція, пояснення, робота з підручником). Практичні методи (практичні лабораторні завдання, контрольні заходи, складання схем). Логічні методи (індуктивні, дедуктивні, створення проблемної ситуації). Проблемно-пошукові методи (репродуктивні). Метод формування пізнавального</p>

	інтересу (навчальна дискусія, моделювання ситуацій практичного характеру).
<p>Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:</p> <p>СК1. Здатність ефективно використовувати складне контрольно-вимірювальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві матеріалів, компонентів, приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення.</p> <p>СК2. Здатність здійснювати тестування та діагностику приладів та обладнання, а також оброблення і аналіз отриманих результатів.</p> <p>СК3. Здатність аналізувати та синтезувати мікро- та наноелектронні системи різного призначення.</p> <p>СК 9. Здатність до розроблення вузлів, приладів і систем мікро- та наносистемної техніки нового функціонального призначення.</p>	<p>Методи:</p> <p>Дослідницький (самостійна робота, проекти).</p> <p>Наочні методи (схеми, моделі, алгоритми).</p> <p>Проблемно-пошукові методи (репродуктивні).</p> <p>Практичні методи (практичні роботи, складання схем і алгоритмів).</p> <p>Логічні методи (індуктивні, дедуктивні, створення проблемної ситуації).</p> <p>Метод формування пізнавального інтересу (навчальна дискусія, моделювання ситуацій практичного характеру).</p>
<p>Програмні результати навчання:</p> <p>Р1. 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>Р3. Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення.</p> <p>Р6. Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування.</p> <p>Р7. Розв'язувати задачі синтезу та аналізу приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки.</p> <p>Р9. Забезпечувати якість виробництва; обирати технології, що гарантують отримання необхідних характеристик твердотільних пристроїв; застосовувати сучасні методи контролю мікро- та наносистемної техніки.</p> <p>Р17. Проводити випробування, експериментальні та теоретичні дослідження властивостей матеріалів, наноструктур та технологій, компонентів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки.</p>	<p>Методи контролю і самоконтролю (усний, письмовий, програмований).</p> <p>Контрольні заходи:</p> <p>теоретичне тестування за змістовим модулем;</p> <p>надання звіту із виконання практичної роботи;</p> <p>підсумкове розрахункове завдання;</p> <p>підсумкове тестування.</p>

Міждисциплінарні зв'язки.

Курс «Поверхневі та контактні явища напівпровідникових структур» є логічним продовженням опанування здобувачами освіти відповідних компетентностей та програмних результатів навчання в рамках спеціальності 176 «Мікро – та наносистемна техніка» другого магістерського рівня. Набуті при вивченні даного курсу знання необхідні у виробничій практиці, виконанні кваліфікаційної роботи магістра та подальшій дослідницькій діяльності в галузі електроніки, автоматизації та електронних комунікацій.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Поверхневі явища у напівпровідниках

Теми лекцій: Електронні стани на поверхні напівпровідникових кристалів. Теорія області просторового заряду (ОПЗ). Рухливість носіїв заряду в ОПЗ. Експериментальне дослідження рухливості носіїв у приповерхневій області. Ефект поля. Визначення параметрів поверхневих рівнів із вимірювання ефекту поля. Кінетика ефекту поля. Експериментальні методи дослідження ефекту поля.

Змістовий модуль 2. Фізичні основи формування наноповерхонь

Теми лекцій: Фізична та хімічна адсорбція. Сучасна теорія хемосорбції. Реальна та атомарно-чиста поверхня напівпровідника. Фізичні властивості атомарно-чистих поверхонь. Визначення вигинів енергетичних зон контактними методами. Дослідження вигинів енергетичних зон безконтактними методами. Формування поверхні зондовими методами.

Змістовий модуль 3. Контактні явища: контакт Me – напівпровідник, p – n - перехід

Теми лекцій: Властивості омичних контактів. Виготовлення і дослідження омичних контактів. Хід потенціалу в ОПЗ напівпровідника. ВАХ p-n – переходів. Випрямлення в контакті метал-напівпровідник. Види пробою. Експериментальні методи дослідження пробою.

Змістовий модуль 4. Контактні явища: гетероструктури

Теми лекцій: Аналіз моделей гетеро- та гомопереходів, до яких прикладено напругу. Випрямні властивості гетеропереходів. ВАХ гетеро переходів.

4. Структура навчальної дисципліни

Змістовий модуль	Усього годин	Аудиторні (контактні) години						Самостійна робота, год		Система накопичення балів		
		Усього годин		Лекційні Заняття, год		Практичні 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/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	3	3	2	2	1	10	12	10	4	14
2	15	4	2	2	1	2	1	11	13	10	8	18
3	15	4	3	2	2	2	1	11	12	10	4	14
4	15	3	2	1	1	2	1	12	13	10	4	14
Усього за змістові модулі	60	22	10	8	6	8	4	44	50	40	20	60
Підсумковий семестровий контроль залік	30							30	30	20	20	40
Загалом		90								100		

5. Темі лекційних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		о/д ф.	з/дист ф.
1	2	3	4
1	Електронні стани на поверхні напівпровідникових кристалів. Теорія області просторового заряду (ОПЗ). Рухливість носіїв заряду в ОПЗ. Експериментальне дослідження рухливості носіїв у приповерхневій області.	1	1
1	Ефект поля. Визначення параметрів поверхневих рівнів із вимірювання ефекту поля.	2	1
2	Фізична та хімічна адсорбція. Сучасна теорія хемосорбції. Реальна та атомарно-чиста поверхня напівпровідника. Фізичні властивості атомарно-чистих поверхонь. Визначення вигинів енергетичних зон контактними методами. Дослідження вигинів енергетичних зон безконтактними методами. Формування поверхні зондовими методами.	2	1
3	Властивості омичних контактів. Виготовлення і дослідження омичних контактів. Хід потенціалу в ОПЗ напівпровідника.	1	1
3	ВАХ р-п – переходів. Випрямлення в контакті метал-напівпровідник. Види пробую. Експериментальні методи дослідження пробую.	1	1
4	Аналіз моделей гетеро- та гомопереходів, до яких прикладено напругу. Випрямні властивості гетеропереходів. ВАХ гетеро переходів.	1	1
Разом		8	6

6. Темі практичних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		о/д	з/дист

		ф.	ф.
1	2	3	4
1	Розрахунок потенціалу в області просторового заряду	2	1
2	Енергетичні спектри атомарно-чистих поверхонь	1	1
2	Фотоелектричні та оптичні явища на поверхні напівпровідників	1	
3	Дослідження ВАХ контакту Me – напівпровідник	2	1
4	Дослідження ВАХ гетероструктур	2	1
Разом		8	4

7. Самостійна робота

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		о/д ф.	з/дист ф.
1	2	3	4
1	Кінетика ефекту поля	8	10
1	Експериментальні методи дослідження ефекту поля	8	10
2	Дослідження канал-ефекту	8	10
2	Методи очищення поверхонь	8	10
3	Лавинний пробій. Тунельний пробій. Тепловий пробій	8	10
3	Мікроплазма	8	10
4	Утворення гетеро- та гомопереходів	8	10
4	Експериментальні методи дослідження ВАХ гетеро переходів	8	10
Разом		64	80

7. Види і зміст поточних контрольних заходів

№ змістового модуля	Види поточного контрольного заходу	Зміст поточного контрольного заходу	Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
1	Теоретичне завдання - контрольне тестування за результатами вивчення матеріалів Лекція 1 «Електронні стани на поверхні напівпровідникових кристалів. Теорія області просторового заряду (ОПЗ).» Лекція 2 «Ефект поля» (<i>тест в Moodle</i>)	Питання для підготовки: Електронні стани на поверхні напівпровідникових кристалів. Теорія області просторового заряду (ОПЗ). Рухливість носіїв заряду в ОПЗ. Експериментальне дослідження рухливості носіїв у приповерхневій області. Ефект поля. Визначення параметрів поверхневих рівнів із вимірювання ефекту поля. Кінетика ефекту поля. Експериментальні методи дослідження ефекту поля.	Тестові питання оцінюються: правильно/ неправильно. Кількість питань – 5. Правильна відповідь оцінюється у 2 бали.	10
	Практичне завдання - Виконання та оформлення практичної роботи «Розрахунок потенціалу в області просторового заряду»	Вимоги до виконання та оформлення: виконати лабораторну роботу, оформити звіт у pdf форматі та завантажити його в систему <i>Moodle</i> ЗНУ (розмір файлу завантаження – не більше 5 Мб)	Практичне завдання оцінюється: 1) виконано у повному обсязі - 2 бали; 2) оформлення звіту відповідає стандартам – 2 бали; 3) завдання виконано, оформлення не відповідає стандартам – 1 бал; 4) завдання не виконане - 0 балів	4
Усього за ЗМ 1	2			14
2	Теоретичне завдання - контрольне тестування за результатами вивчення матеріалів Лекція 3 «Фізичні основи формування наноповерхонь» (<i>тест в Moodle</i>)	Питання для підготовки: Фізична та хімічна адсорбція. Сучасна теорія хемосорбції. Реальна та атомарно-чиста поверхня напівпровідника. Фізичні властивості атомарно-чистих поверхонь. Дослідження канал-	Тестові питання оцінюються: правильно/ неправильно. Кількість питань – 5. Правильна відповідь оцінюється у 2 бали.	10

		ефекту. Визначення вигинів енергетичних зон контактними методами. Дослідження вигинів енергетичних зон безконтактними методами. Методи очищення поверхонь. Формування поверхні зондовими методами.		
	Практичне завдання - Виконання та оформлення практичної роботи «Енергетичні спектри атомарно-чистих поверхонь»	Вимоги до виконання та оформлення: виконати лабораторну роботу, оформити звіт у pdf форматі та завантажити його в систему <i>Moodle</i> ЗНУ (розмір файлу завантаження – не більше 5 Мб)	Практичне завдання оцінюється: 1) виконано у повному обсязі - 2 бали; 2) оформлення звіту відповідає стандартам – 2 бали; 3) завдання виконано, оформлення не відповідає стандартам – 1 бал; 4) завдання не виконане - 0 балів	4
	Практичне завдання - Виконання та оформлення практичної роботи «Фотоелектричні та оптичні явища на поверхні напівпровідників»	Вимоги до виконання та оформлення: виконати лабораторну роботу, оформити звіт у pdf форматі та завантажити його в систему <i>Moodle</i> ЗНУ (розмір файлу завантаження – не більше 5 Мб)	Практичне завдання оцінюється: 1) виконано у повному обсязі - 2 бали; 2) оформлення звіту відповідає стандартам – 2 бали; 3) завдання виконано, оформлення не відповідає стандартам – 1 бал; 4) завдання не виконане - 0 балів	4
Усього за ЗМ 2	3			18
3	Теоретичне завдання - контрольне тестування за результатами вивчення матеріалів Лекція 4 «Контакт Me – напівпровідник, p – n - перехід» Лекція 5 «Види пробою у контактах. Методи дослідження пробою» (<i>тест в Moodle</i>)	Питання для підготовки: Властивості омичних контактів. Виготовлення і дослідження омичних контактів. Хід потенціалу в ОПЗ напівпровідника. ВАХ p-n – переходів. Випрямлення в контакт метал-напівпровідник. Види пробою. Лавинний пробій. Тунельний пробій. Тепловий пробій. Мікроплазма.	Тестові питання оцінюються: правильно/ неправильно. Кількість питань – 5. Правильна відповідь оцінюється у 2 бали.	10

		Експериментальні методи дослідження пробою.		
	Практичне завдання - Виконання та оформлення практичної роботи «Дослідження ВАХ контакту Ме – напівпровідник»	Вимоги до виконання та оформлення: виконати лабораторну роботу, оформити звіт у pdf форматі та завантажити його в систему <i>Moodle</i> ЗНУ (розмір файлу завантаження – не більше 5 Мб)	Практичне завдання оцінюється: 1) виконано у повному обсязі - 2 бали; 2) оформлення звіту відповідає стандартам – 2 бали; 3) завдання виконано, оформлення не відповідає стандартам – 1 бал; 4) завдання не виконане - 0 балів	4
Усього за ЗМ 3	2			14
4	Теоретичне завдання - контрольне тестування за результатами вивчення матеріалів Лекція 6 «Гетероструктури» (<i>тест в Moodle</i>)	Питання для підготовки: Утворення гетеро- та гомопереходів. Аналіз моделей гетеро- та гомопереходів, до яких прикладено напругу. Випрямні властивості гетеропереходів. ВАХ гетеро переходів. Експериментальні методи дослідження ВАХ гетеро переходів.	Тестові питання оцінюються: правильно/ неправильно. Кількість питань – 5. Правильна відповідь оцінюється у 2 бали.	10
	Практичне завдання - Виконання та оформлення практичної роботи «Дослідження ВАХ гетероструктур»	Вимоги до виконання та оформлення: виконати лабораторну роботу, оформити звіт у pdf форматі та завантажити його в систему <i>Moodle</i> ЗНУ (розмір файлу завантаження – не більше 5 Мб)	Практичне завдання оцінюється: 1) виконано у повному обсязі - 2 бали; 2) оформлення звіту відповідає стандартам – 2 бали; 3) завдання виконано, оформлення не відповідає стандартам – 1 бал; 4) завдання не виконане - 0 балів	4
Усього за ЗМ 4	2			14
Усього за змістові модулі	9			60

8. Підсумковий семестровий контроль

Форма	Види підсумкових контрольних заходів	Зміст підсумкового контрольного заходу	Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
Залік	Теоретичне завдання: контрольне тестування за результатами вивчення матеріалів (<i>тест в Moodle</i>)	Питання для підготовки: див. питання до ЗМ 1–4 у таблиці 8. У разі дистанційної форми навчання залік проходить у тестовій формі через платформу Moodle.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 2 бали	20
	Практичне завдання: Розрахункова задача за матеріалом вивчення курсу	Розрахункова задача, яка передбачає розрахунок квантової діагностичної системи згідно обраної теми, оформити звіт у pdf форматі та завантажити його в систему <i>Moodle</i> ЗНУ (розмір файлу завантаження – не більше 5 Мб)	Практичне завдання оцінюється: 1 – постановка проблеми (6 балів); 2 – аналітичний розв'язок (8 балів); 3 – оформлення звіту згідно стандартів – 6 балів	20
Усього за підсумковий семестровий контроль	2			40

9. Рекомендована література

Основна:

1. Фізика напівпровідників: Конспект лекцій (Частина I) [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», освітньої програми «Мікро-та наноелектроніка» / В. І. Ільченко, Т. Ю. Обухова.; КПІ ім. Ігоря Сікорського Електронні текстові данні (1 файл: 2,97 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 26 с.
2. Горват А. А., Когутич А. А. Основи інформаційно-вимірювальної техніки. Навчальний посібник. Ужгород, в-во УжНУ "Говерла" 2016 176 ст.
3. 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.

Додаткова:

1. Alford T.L., Feldman L.C., Mayer J.W. Fundamentals of Nanoscale Film Analysis. New York: Springer, 2007. 336 p.
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. Кріогенна 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. Ibach H. Physics of Surfaces and Interfaces. Berlin : Springer-Verlag, 2006. 646 p.
11. Пека Г. П., Стріха В. І. Поверхневі та контактні явища у напівпровідниках. Київ : Либідь, 1992. 240 с.
12. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури. Навч. посібник. Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. 580с.
13. Заячук Д. М. Низькорозмірні структури і надгратки. Навч. посібник. Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2006. 220с.
14. Фодчук І. М., Баловсяк С. В. Діагностика поверхні твердого тіла. Загальний стан проблеми та Хпроменеві методи. Навч. посібник. Чернівці : Рута, 2007. 288с.
15. Surface characterization methods: principles, techniques, and applications. // Ed. by A.J. Milling. Basel : Marcel Dekker, Inc., 1999. 429 p.

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)