

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи



2021 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Зондові нанотехнології в електроніці

рівень вищої освіти другий (магістерський)

галузь знань 1 5 Автоматизація та приладобудування
(шифр і назва)

спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва)

освітня програма Фізична та біомедична електроніка
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни Обов'язкова
(обов'язкова / за вибором)

факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

2020 / 2021 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою факультету
Радіофізики, біомедичної електроніки і комп'ютерних систем

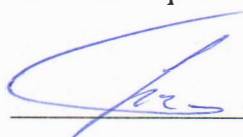
“_22_” __січня__ 2021 року, протокол №_1

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Боцула Олег Вікторович, к.ф.-м. н., доцент кафедри фізичної
і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій

Програму схвалено на засіданні кафедри Фізичної і біомедичної електроніки та
комплексних інформаційних технологій

Протокол від “_19_” __січня__ 2021 року № 11

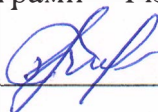
Завідувач кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних
інформаційних технологій



Сергій БЕРДНИК

Програму погоджено з гарантом професійно – освітньої програми “Фізична та
біомедична електроніка”

Гарант професійно – освітньої програми “Фізична та біомедична електроніка”



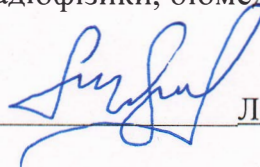
Микола МУСТЕЦОВ

Програму погоджено методичною комісією

Радіофізики, біомедичної електроніки і комп'ютерних систем
назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна
дисципліна

Протокол від “_20_” __січня__ 2021 року № 1

Голова методичної комісії факультету Радіофізики, біомедичної електроніки та
комп'ютерних систем



Леонід ЧОРНОГОР

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Зондові нанотехнології в електроніці” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістра Спеціальності 153 Мікро- та наносистемна техніка

спеціалізації

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є формування уявлень про технологічне та дослідницьке обладнання, що використовується в зондових методах дослідження; методи отримання, обробки та аналізу отриманих результатів.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є сформувати у здобувачів вищої освіти наступні загальні та фахові компетентності:

Загальні

1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. (ЗК-1)
2. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. (ЗК-2)
3. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. (ЗК-5)

Фахові компетентності

1. Здатність ефективно використовувати складне контрольно-вимірвальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві матеріалів, компонентів, приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення. (СК-1)
2. Здатність здійснювати тестування та діагностику приладів та обладнання, а також оброблення і аналіз отриманих результатів. (СК-2)
3. Здатність аналізувати та синтезувати мікро- та нанoeлектронні системи різного призначення. (СК-3)
4. Здатність розробляти, обґрунтовано вибирати і використовувати сучасні методи обробки та аналізу сигналів в мікро- і нанoeлектронних приладах та системах. (СК-4)
5. Здатність аргументувати вибір методів розв’язання складних задач і проблем мікро- та наносистемної техніки, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення. (СК-5)
6. Здатність користуватися сучасними системами пошуку та аналізу науково-технічної інформації, проводити патентний пошук і дослідження та здійснювати захист інтелектуальної власності. (СК-6)
7. Здатність розробляти і реалізовувати наукові та/або інноваційні проекти у сфері мікро- та наносистемної техніки, а також дотичні до неї міждисциплінарні проекти. (СК-7)

Основними завданнями дисципліни є вивчення фізичних явищ та ефектів, основних методів та приладів, що реалізують зондові методи, методик отримання, обробки та інтерпретації інформації, а також методів модифікації поверхні та наноінженерії, в тому числі з використанням біологічних об’єктів.

1.3. Кількість кредитів - 4

1.4. Загальна кількість годин - 120

| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни | |
|---|-------------------------------------|
| За вибором | |
| Денна форма навчання | Заочна (дистанційна) форма навчання |
| Рік підготовки | |
| 1-й | -й |
| Семестр | |
| 2-й | -й |
| Лекції | |
| 32 год. | год. |
| Практичні, семінарські заняття | |
| 32 год. | год. |
| Лабораторні заняття | |
| год. | год. |
| Самостійна робота | |
| 56 год. | год. |
| Індивідуальні завдання | |
| год. | |

1.6. Заплановані результати навчання

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Зондові нанотехнології в електроніці» здобувачі вищої освіти повинні досягти таких результатів навчання.

Програмні результати навчання

1. 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-1)
2. Визначати напрями, розробляти і реалізовувати проекти модернізації виробництва мікро- та наносистемної техніки з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів. (P-2)
3. Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення. (P-3)
4. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері мікро- та нанoeлектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності. (P-4)
5. Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері мікро- та нанoeлектроніки, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів. (P-5)
6. Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування. (P-6)
7. Розв'язувати задачі синтезу та аналізу приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки (P-7)
8. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її. (P-8)

9. Забезпечувати якість виробництва; обирати технології, що гарантують отримання необхідних характеристик твердотільних пристроїв; застосовувати сучасні методи контролю мікро- та наносистемної техніки (P-9)
10. Забезпечувати професійний розвиток членів колективу з урахуванням світового досвіду і вимог до персоналу в сфері розробки та експлуатації мікро- та нанoeлектронних систем (P-10)
11. Досліджувати процеси у мікро- та нанoeлектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів (P-11)
12. Будувати і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів мікро- та нанoeлектроніки (P-12)
13. Керувати складними робочими процесами у сфері виробництва та/або досліджень мікро- та нанoeлектронних систем, об'єктивно оцінювати результати діяльності колективу та окремих працівників, визначати заходи щодо покращення результатів діяльності (P-13)
14. Координувати роботу колективів виконавців для проведення наукових досліджень, проектування, розроблення, аналізу, розрахунку, моделювання, виробництва та тестування мікро- та наносистемної техніки (P-14)
15. Забезпечувати захист інтелектуальної власності, комерціалізацію результатів науково-дослідної, винахідницької та проектної діяльності (P-15)

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- принципи функціонування та будову основних типів зондових мікроскопів (скануючого тунельного мікроскопа, атомно-силового мікроскопа, електросилового мікроскопа, магнітно-силового мікроскопа, близькопольового оптичного мікроскопа), їх елементів та основні методи роботи з ними;
- принципи формування та обробки зображень в СЗМ;

вміти:

- аналізувати системи СЗМ;
- обґрунтовано вибирати методи обробки та аналізу сигналів отриманих з допомогою СЗМ;
- правильно інтерпретувати отримані з використанням зондових методів результати дослідження поверхні;
- критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення;
- виходячи з отриманих знань самостійно опановувати нову апаратуру та технології;
- за нагоди в короткий термін стати членом наукового та/або інноваційного проекту у сфері СЗМ, а також дотичних до неї міждисциплінарних проектів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Техніка скануючої зондової мікроскопії

Тема 1. Принципи роботи скануючих зондових мікроскопів та їх елементів.

Принцип роботи скануючого зондового мікроскопу(СЗМ). Пристрої для прецизійних переміщень зонду і зразка в зондових мікроскопах. Перетворювачі на п'єзокерамічних матеріалах. Трубочаті п'єзоелементи в скануючій зондовій мікроскопії. Сканери на основі біморфних п'єзоелементів. Недоліки п'єзокерміки, що негативно впливають на роботу

скануючих елементів(нелінійність п'єзоелектричних властивостей, крип, гістерезіс). Проблема прецизійного переміщення зонду у скануючій зондовій мікроскопії і методи її розв'язку. Крокові електродвигуни для прецизійного переміщення зонду у скануючій зондовій мікроскопії. Захист зондових мікроскопів від зовнішніх впливів (вібрації, акустичні шуми). Стабілізація термодрейфу положення зонду над поверхнею.

Тема 2. Формування і обробка зображень в скануючій зондовій мікроскопії.

Методи формування зображень в скануючому зондовому мікроскопі і їх можливі спотворення. Засоби корекції СЗМ зображень, які використовуються для покращення їх якості (віднімання постійного нахилу, усунення спотворень, які пов'язані з неідеальністю сканера, фільтрація СЗМ зображень, медіанна фільтрація, усереднення по рядкам, Фур'є - фільтрація СЗМ зображень.

Розділ 2. Методи скануючої зондової мікроскопії.

Тема 1. Скануючий тунельний мікроскоп(СТМ).

Принцип роботи скануючого тунельного мікроскопу(СТМ). Методи формування зображення рельєфу поверхні у СТМ. Зонди для тунельних мікроскопів. Вимірювання локальної роботи виходу у СТМ. Вимірювання вольт-амперних характеристик тунельного контакту. Конструкції скануючих тунельних мікроскопів. Тунельна спектроскопія.

Тема 2. Атомно-силовий мікроскоп (АСМ)

Принцип роботи атомно-силового мікроскопа. Основні параметри, які реєструються оптичною системою в АСМ та формування струму для петлі зворотнього зв'язку. Зондові датчики для АСМ. Контактна атомно-силова мікроскопія. Залежність сили від відстані між зондовим датчиком і зразком при контактній атомно-силовій мікроскопії. Система управління АСМ при роботі кантилівера у контактному режимі. Коливальні методики АСМ. Безконтактний режим колевань кантилівера АСМ. "Напівконтактний" режим коливань кантилівера АСМ.

Тема 3. Електросилова, магнітно- силова та ближньопольова оптична мікроскопії

Основні принципи електросилової мікроскопії. Основні принципи магнітно-силової мікроскопії(МСМ). Квазистатичні методики МСМ. Коливальні методики МСМ. Система управління АСМ, ЕСМ, МСМ. Основні принципи ближньопольової оптичної мікроскопії(БОМ). Зонди БОМ на основі оптичного волокна. "Shear-force" метод контролю відстані зонд-поверхня у ближньопольовому оптичному мікроскопі.

Розділ 3. Застосування зондових методів для локальної модифікації поверхностей (наноінженерія) та вивчення властивостей біологічних об'єктів

Тема 1. Модифікація поверхні .

Використання АСМ як інструмента нанолітографії. Використання АСМ для локального анодного окислення. Використання АСМ для створення приладів одноелектроніки.

Тема 2. Застосування зондових методів для дослідження біологічних об'єктів.

Зондові методи як інструмент для встановлення закономірностей протікання біологічних процесів в живих організмах. Створення приладів та систем на основі біологічних молекул(ДНК, білки)

3. Структура навчальної дисципліни

| Назви розділів | Кількість годин | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|--------------|------|------|-------|----|--------------|--------------|------|------|-------|----|
| | денна форма | | | | | | заочна форма | | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | | усього | у тому числі | | | | |
| л | | п | лаб. | інд. | с. р. | л | | п | лаб. | інд. | с. р. | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Розділ 1. Техніка скануючої зондової мікроскопії | | | | | | | | | | | | |
| Разом за розділом 1 | | 6 | 6 | | | 10 | | | | | | |
| Розділ 2. Методи скануючої зондової мікроскопії. | | | | | | | | | | | | |
| Разом за розділом 2 | | 16 | 20 | | | 20 | | | | | | |
| Розділ 3. Застосування зондових методів для локальної модифікації поверхностей (наноінженерія) та вивчення властивостей біологічних об'єктів | | | | | | | | | | | | |
| Разом за розділом 3 | | 10 | 6 | | | 26 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Усього годин | | 32 | 32 | | | 56 | | | | | | |

4. Темі практичних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1 | Властивості та параметри пезокераміки. | 2 |
| 2 | Трубочаті п'єзоелементи в скануючій зондовій мікроскопії. | 2 |
| 3 | Сканери на основі біморфних п'єзоелементів | 2 |
| 4 | Виконавчі та допопоміжні прилади в зондовій мікроскопії | 2 |
| 5 | Сили взаємодії зонд-зразок. | 2 |
| 6 | Вплив геометрії зонду на взаємодію зонд-зразок | 4 |
| 7 | Вплив сили адгезії на взаємодію зонд-зразок | 2 |
| 8 | Модуляційні методики | 2 |
| 9 | Амплітудний та фазовий контраст | 2 |
| 10 | Параметри СТМ | 2 |
| 11 | Локальна робота виходу та визначення густини станів в СТМ | 2 |
| 12 | Параметри МСМ та БОМ | 2 |
| 10 | Дослідження властивостей біологічних об'єктів | 6 |
| | Разом | 32 |

5. Завдання для самостійної робота

| № з/п | Види, зміст самостійної роботи | Кількість годин |
|-------|---------------------------------|-----------------|
| 1 | Підготовка до лекцій | 8 |
| 2 | Підготовка до практичних занять | 32 |
| 4 | Підготовка до екзамену | 16 |
| | Разом | 56 |

6. Індивідуальні завдання не передбачено

7. Методи навчання

1. Словесні методи: лекція, пояснення; бесіда; дискусія;
2. Робота з навчальною та науковою літературою (підручниками, науковими журналами), самостійна робота з використанням методичних рекомендації для організації самостійної роботи здобувачів вищої освіти.
3. Методи спостереження: методи ілюстрацій, методи візуалізації, методи демонстрацій. Лекції передбачають викладення теоретичного матеріалу та присвячені загальним питанням функціонування окремих елементів та приладів наноелектроніки, основним фізичним ефектам, що лежать в основі їх роботи. Побудовані за принципом проблемної лекції та за принципами лекції-інформації. Лекції ілюстровані таблицями, наочним матеріалом у вигляді рисунків, схем, фотографій та представлені у формі мультимедійних презентацій, що дає можливість проводити заняття у дистанційній формі.
4. При вивченні фізичних ефектів, процесів та технологій приводяться їх іноземні (англомовні) аналоги відповідно до публікацій і іноземній літературі.
5. Методи проблемного навчання: виклад з елементами проблемності, пізнавальний проблемний виклад, проблемний виклад під час діалогу

Практичні завдання полягають у розв'язанні задач проблемного характеру за темами, що обговорюються на лекціях, числових оцінках ступеню прояву фізичних ефектів, оцінках можливості врахування або знехтуваннями ефекту в конкретних умовах. Під час практичних занять обговорюються конкретні питання застосування теорій і відповідних формул та співвідношень до систем з реальними параметрами та обговорюються проблемні питання їх застосування.

8. Методи контролю

Самоконтроль здійснюється студентами при виконанні завдань для самопідготовки та самоконтролю по кожному розділу курсу з можливим використанням підручників, методичних посібників з відповідних розділів курсу, іншої додаткової літератури та інформаційних джерел.

Оцінювання поточної навчальної діяльності

Лекційний матеріал і самостійна робота студентів оцінюється в процесі поточного контролю на відповідних практичних заняттях і під час підсумкового контролю.

Оцінювання поточної навчальної діяльності здійснюється на кожному практичному занятті за відповідною темою.

Максимальна кількість балів, яку може набрати студент за поточну навчальну діяльність при вивченні дисципліни становить 60 балів.

Мінімальна кількість балів, яку повинен набрати студент за поточну навчальну діяльність при вивченні дисципліни для допуску до складання підсумкового контролю (іспиту) - 30.

Розрахунок кількості балів проводиться на підставі отриманих студентом позитивних оцінок за традиційною шкалою під час вивчення дисципліни.

Поточний контроль.

Програма передбачає наступні форми поточного контролю:

— експрес-контроль слугує для перевірки засвоєння студентами за темами лекційної частини курсу та теоретичних питань, що вивчаються студентами самостійно, проводиться протягом семестру у вигляді коротких (до 10 хв.) тестових завдань, що складаються з 2 – 3 питань. Відповідь на кожне запитання оцінюється балами(від 0 до 5) відповідно до повноти та правильності відповіді.

Сума балів, що отримується дорівнює відношенню загальної кількості набраних балів до максимальної кількості балів, яке помножене на 30 та округлене до більшого цілого числа.

— тестування: проводиться у формі експрес-контролю за тестовими завданнями: слугує для контролю роботи студентів на практичних заняттях. При тестуванні впродовж практичних занять зараховуються тільки повністю виконані роботи. Їхня загальна кількість може варіюватись, тому зараховується відношення виконаних тестів до кількості проведених, що помножені на 30 та округлені до більшого цілого числа.

Умовою допуску до екзамен є виконання **всіх домашніх завдань**, оцінених на позитивну оцінку,

Підсумковий семестровий контроль. Проводиться у формі екзамену та передбачає письмову відповідь на поставлені питання та розв'язування задач. Екзаменаційний білет складається з 3 питань , вичерпна відповідь на кожне з них зараховується в сумі 40 балів за екзаменаційну роботу. Часткова відповідь на кожне питання знижує максимальну оцінку до меншої кількості балів пропорційно тому, яку частину від повної відповіді на це питання містить письмова робота студента.

9. Схема нарахування балів

| Поточний контроль, самостійна робота | | | | | | | Екзамен | Сума |
|--------------------------------------|----|----------|----|----|----------|----|---------|------|
| Розділ 1 | | Розділ 2 | | | Розділ 3 | | Разом | |
| T1 | T2 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | 5 | |
| 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 60 | 40 |
| | | | | | | | | 100 |

T1, T2 ... – теми розділів.

Шкала оцінювання

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка |
|--|--------------|
| 90 – 100 | відмінно |
| 70-89 | добре |
| 50-69 | задовільно |
| 1-49 | незадовільно |

Вичерпна відповідь на кожне завдання зараховується як 5 балів. Часткова відповідь на кожне питання знижує максимальну оцінку з 5 балів до меншої кількості балів пропорційно тому, яку частину від повної відповіді на це питання містить виконана робота студента, або пропорційно кількості суттєвих помилок у роботі студента.

- 5 балів – вичерпна та повна відповідь;
- 4 бали – відповідь правильна та містить усю необхідну інформацію, логічно побудована, але є неточності та/або упущення;
- 3 бали – відповідь задовільна, містить правильну інформацію, але не має пояснень, ілюстрацій, студент не може аргументувати (прокоментувати) свою думку;
- 2 бали – студент виявляє поверхневі, загальні знання без аналізу змісту питання, хоча загальний напрямок роздумів правильний;
- 1 бал – відповідь містить поодинокі елементи правильної інформації; .
- 0 балів – відповідь неправильна або відсутня.

Письмова відповідь(розв'язок задачі).

Оцінюється за шкалою від 0 до 5 балів.

- 5 балів – студент правильно розв'язує задачу, наводячи вихідні формули та проводячи правильні розрахунки зі вказівкою відповідних розмірностей результату;
- 4 бали – студент правильно розв'язує задачу, наводячи вихідні формули та проводячи правильні розрахунки, але не вказує відповідні розмірності результату;
- 3 бали – студент правильно розв'язує задачу, наводячи вихідні формули, але робить помилку при розрахунках;
- 1 бали – студент орієнтується у співвідношенні, проте не в змозі провести розрахунки;
- 0 бали – відповідь неправильна або відсутня.

Схема нарахування балів за тему

Тема оцінюється за шкалою від 0 до 7(8) балів. Кількість балів за тему:

$$K = \frac{\text{сума балів за відповіді на теорпитання} + \text{сума балів за виконані практичні завдання}}{\text{кількість теоретичних та практичних завдань}}$$

Орієнтовні критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

До підсумкового семестрового контролю (іспиту) допускаються студенти, які виконали всі види навчальних завдань, передбачені навчальною програмою, та при вивченні розділу набрали за поточну навчальну діяльність кількість балів, не меншу за мінімальну.

Максимальна кількість балів, яку може набрати студент за результатами підсумкового семестрового контролю – 40, мінімальна кількість балів – 20.

Критерії оцінювання дисципліни Оцінку «відмінно» (5 балів – за завдання; 90-100 балів за курс у цілому) отримує студент, якщо він:

- самостійно, грамотно, послідовно, з вичерпною повнотою, використовуючи дані додаткової літератури, відповів на запитання;
- чітко та правильно дає визначення та розкриває зміст кожного питання;
- вміє аналізувати, оцінювати та розкривати суть усіх процесів;
- вміє розв'язувати практичні завдання за темами курсу.

Оцінку «добре» (4 бали за завдання; 70-89 балів за курс у цілому) отримує студент, якщо він:

- самостійно, грамотно відповів на запитання допускаючи незначні помилки при застосуванні наукових термінів та загальноприйнятих у сучасній анатомії;
- розкриває основний зміст навчального матеріалу, допускаючи незначні порушення у послідовності викладення;
- нечітко формулює висновки при оцінці суті процесів;
- вміє розв'язувати практичні завдання за темами курсу, але допустив неточності у їх виконанні.

Оцінку „задовільно” (3 бали – за завдання; 50-69 балів за курс у цілому) студент отримує, якщо:

- коли студент орієнтується в основному матеріалі, але не може самостійної послідовно сформулювати відповідь, допускає суттєві помилки;
- показує початкову уяву про предмет вивчення;
- не може сформулює висновки при оцінці суті процесів;
- фрагментарно орієнтується у розв’язанні практичних завдань.

Оцінку „незадовільно” (менше 50 балів) студент отримує, якщо:

- погано орієнтується в навчальному матеріалі;
- виявляє незнання змісту навчального матеріалу;
- виявляє невміння розв’язати практичне завдання.

10. Рекомендована література

Основна література

1. Миронов В.Л. Основы сканирующей электронной микроскопии. Учебное пособие. – Нижний Новгород 2004. – 113 с.
2. Vlad-Andrei Antohe Quantum Rings Produced by Nanolithography with an Atomic Force Microscope Research Thesis Hannover, September 2004.
3. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин Основы нанoeлектроники: Учебное пособие. - М: Логос. 2006. – 496 с.
4. Нагорнов Ю.С., Ясников И.С., Тюрков М.Н. Способы исследования поверхности методами атомно-силовой и электронной микроскопии Тольятти: ТГУ, 2012, 58 с.

Допоміжна література

1. Г. Бинниг, Г. Рорер Сканирующая туннельная микроскопия – от рождения к юности Успехи физических наук, 1988. – том 154, вып. 4.
2. А.В. Картавых, Н.С. Маслова, В.И. Панов, В.В. Раков, С.В. Савинов Туннельная спектроскопия атома в примесей в монокристаллической полупроводниковой матрице Физика и техника полупроводников, 2000, том 34, вып. 4

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. <https://www.ntmdt-si.com/resources>
2. http://ipmras.ru/UserFiles/publications/mironov/Fundamentals_SPM.pdf
3. <http://www.chembio.uoguelph.ca/educmat/chm729/STMpage/stmtutor.htm>
4. <http://www.formatex.info/microscopy4/1327-1337.pdf>
5. http://www.nanometer.ru/2013/11/20/13849367474340_385570.html