



Електронно-зондові методи аналізу речовин та матеріалів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>заочна (вечірня)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів / 120 год. : лекції - 10 годин, лабораторні заняття - 6 годин, СРС - 104 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен/модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: асистент, доктор філософії Тесля Сергій Юрійович, e-mail: teslia.serhii@lll.kpi.ua Лабораторні: асистент, доктор філософії Тесля Сергій Юрійович, e-mail: teslia.serhii@lll.kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>https://ecampus.kpi.ua/</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дисципліна «Електронно-зондові методи аналізу речовин та матеріалів» дозволяє студентам набути ключові матеріалознавчі навички аналізу мікро- та наноструктур. В межах навчальної дисципліни студентами будуть набуті компетентності з пить вибору методу дослідження, зокрема методів аналізу мікроструктури, хімічного та фазового складу, дислокаційної структури та анізотропії. Дисципліна охоплює, як загальні теоретичні основи процесів геометричної та електронної оптики, так і оперує сучасними технічними підходами до методів дослідження речовин електронно-зондовими методами.

Метою навчальної дисципліни є розвиток здатностей та загальних компетентностей, які полягають у:

- Здатності приймати обгрунтоване рішення щодо вибору оптимального методу дослідження;

- Здатності обґрунтовано обирати основні методами прободіготовки експериментальних зразків;
- Здатності досліджувати різні об'єкти (репліки, злами, масивні зразки) методами електронної мікроскопії;
- Здатності аналізувати темнопольні та світлопольні картинки з різним електронно-мікроскопічним контрастом;
- Здатності виконувати дослідницькі роботи в галузі матеріалознавства, обробляти та аналізувати результати експериментів
- Здатності до системного та критичного мислення;
- Здатності виявляти, ставити та вирішувати проблему;
- Здатності використовувати новітні інформаційні технології;
- Здатності до самоорганізації, автономії та самостійного навчання опираючись на новітні методи та підходи.

Предметом навчальної дисципліни «Електронно-зондові методи аналізу речовин та матеріалів» є будова та принцип дії електронно-зондових приладів, принципи формування зображення та методів їх інтерпретації.

Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен знати:

- Володіти принципами роботи ключових електронно-зондових приладів різного типу та призначення.
- Системно оцінювати та будувати причинно-наслідкові зв'язки між значущими факторами та науково технічними рішеннями, які можуть бути застосовані для поставлених проблемних областей;
- Іноземну мову на рівні, який забезпечує можливість спілкування у професійному середовищі та користування науковою та науково-технічною документацією в предметній області.

Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен вміти:

- Застосовувати отримані навички дослідження нових і традиційних матеріалів, розробляти та використовувати фізичні та математичні моделі мікро і наноструктури матеріалів;
- Застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями, що приймаються під час розв'язання складних матеріалознавчих задач;
- Адаптуватися в змінному професійному середовищі в процесі якісного виконання професійних задач;
- Зрозуміло і недвозначно доносити власні знання, висновки та пояснення з проблем матеріалознавства.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивчення даної дисципліни базується на знаннях та вміннях, одержаних при засвоєнні таких дисциплін як: “Фізика”, “Методи нанодіагностики”, “Основи електротехніки та електроніки”, “Хімія”, “Вища математика”, “Кристалографія та кристалохімія”.

Дисципліна забезпечує розширення інженерного кругозору в галузі матеріалознавства та інженерії матеріалів чим формує заключний набір компетенцій та інтегральну компетенцію. Результати вивчення дисципліни можуть бути використані при виконанні досліджень в науководослідній роботі студентів, дипломних роботах та проектах.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Растрова електронна мікроскопія.

Вступ. Основні положення геометричної оптики. Аберації, фокусування астигматизм, методи контролю параметрів оптичної системи. Растрова (скануюча) електронна мікроскопія. Принцип роботи та будова ключових вузлів мікроскопу. Отримання зображення високої роздільної здатності. Побудова зображення в растровому електронному мікроскопі. Баланс яскравості та контрасту. Методи мікроаналізу речовини. Дослідження анізотропії речовини. Взаємодія електронного пучка з поверхнею матеріалів. Інтерпретація результатів дослідження. Використання скануючого мікроскопу в інженерній практиці.

Розділ 2. Трансмісійна електронна мікроскопія.

Принцип роботи, будова та ключові вузли мікроскопу. Пробопідготовка. Тіньовий та дифракційний контраст. Мікро дифракція. Темнопольне та світлопольне зображення. Інтерпретація даних хімічного аналізу та електронно-мікроскопічних дифракційних картин. Використання просвічуючого мікроскопу в інженерній практиці.

Розділ 3. Додаткові розділи мікрозондового аналізу

Атомно силова мікроскопія. Рентгенівська томографія швидкими електронами. Оже спектроскопія. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія. Спектроскопія втратою електронів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Хирш П. Электронная микроскопия тонких кристаллов // Пер. с англ. под ред. Л.М. Утевского. - Москва: Мир, 1968.
2. Практическая растровая электронная микроскопия // Пер. с англ. Под ред. В.И. Петрова. - Москва: Мир, 1978. - 656 с.
3. Приборы и методы физического металловедения // Под. ред. Ф. Вейнберга. - Москва: Мир, 1974. - 363 с.
4. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. - Москва: МИСИС, 1994. - 328 с.

Примірники основної навчальної літератури доступні студентам з фондів НТБ та у гугл класі.

5. Деркач В.П.. Электронно-зондовые устройства / Деркач В.П., Кияшко Г.Ф., Кухарчук М.С. – Киев: Наукова думка, 1974. - 267 с
6. Ворончев Т.А. Физические основы электровакуумной техники. - Москва: Высшая школа, 1967. - 352 с

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1. Лекції

Заняття 1. Вступ. Загальні положення геометричної оптики. Базові принципи проходження променів через лінзу. Астигматизм, фокусування. Хроматична та сферична аберация. *Література: [1]-[4].*

Заняття 2. Будова електронного мікроскопу . Вакуумна система. Створення та вимірювання вакууму. Будова електронної гармати. Типи катодів. Блок електромагнітних лінз. *Література: [2].*

Заняття 3.Скануюча (растрова) електронна мікроскопія. Система розгортки. Детектори вторинних та відбитих електронів. Формування зображення. Формування електронного контрасту зображення. Баланс між яскравістю та контрастом. Вплив природи матеріалу на вибір робочих параметрів зйомки. Пробопідготовка матеріалів до дослідження методами скануючої електронної мікроскопії.

Заняття 4. Просвічуюча (трансмісійна) мікроскопія. Режими роботи ТЕМ. Ключові вузли мікроскопу. Двопроменева модель формування електронно-оптичного контрасту. Темнопольне та світлопольне зображення. Тіньовий контраст *Література: [1].*

Заняття 5.Атомно силова мікроскопія. Будова та принцип роботи. Базові завдання. *Література: [1].*

5.2. Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних занять обсягом 18 годин: *підтвердження теоретичних знань, оволодіння практичними навичками дослідження структури матеріалів електронно-зондовими методами аналізу матеріалів.*

Заняття 1. Вступ. Правила техніки безпеки. Правила оформлення протоколів та розрахунок похибок експериментів.). Лабораторна робота 1. Растровий електронний мікроскоп. Теорія та робота на електронному симуляторі – 2 години; www.MyScope>Scanning Electron Microscope

Заняття 2. Лабораторна робота №2. Трансмісійний електронний мікроскоп. Теорія та робота на електронному симуляторі – 2 години; www.MyScope>Transmission Electron Microscope

Заняття 3. Лабораторна робота №3. Дослідження ліквідації хімічного складу порошкових та ливарних сплавів (2 години).

6. Самостійна робота студента

- Підготовка до лекцій, яка полягає в самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для фокусування розглянутих методів електронномікроскопічного аналізу на власні наукові дослідження, що відповідають напрямку магістерської роботи – в розрахунок 10 годин на лекційне заняття, тобто 50 годин;
- підготовці до виконання лабораторних робіт, яка полягає в написанні протоколу, в розрахунок 5 годин на 1 годину виконання комп'ютерного практикуму, тобто 30 годин;
- підготовка до модульної контрольної роботи - 14 годин;
- підготовці до підсумкової атестації – заліку (10 годин).

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом

- Відвідування усіх видів занять є обов'язковим.
- Пропущені без поважної причини лекційні заняття студент повинен відпрацювати шляхом написання конспекту по пропущеній темі.
- Завдання пропущеного лабораторного заняття здобувач повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання для виконання завдань або пошуку додаткової інформації.
- Протоколи лабораторних робіт оформляються у вигляді звітів, написаних у доступних текстових редакторах. Звіт має наступні структурні елементи: назва, номер, мета, теоретичні

відомості, завдання, експериментальна частина (супроводжується формулами, графіками – елементами, які підтверджують виконання завдань), обговорення результатів, висновки. За складних умов з постачанням електроенергії звіт може виконуватися як «від руки», так і в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надається в електронному вигляді. Безпосередній захист звіту відбувається у формі співбесіди, запитань-відповідей.

- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання програмного продукту та методик оптимального вибору для розв'язання www.MyScore реальних задач за тематикою власних наукових досліджень, курсового чи дипломного проектування. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Конспект-реферат за пропущену лекцію має бути виконаний і поданий на перевірку не пізніше 2-х тижнів з часу пропущеної лекції. Звіти з лабораторних робіт виконуються і подаються на перевірку не пізніше 2-х тижнів з моменту завершення. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO-1)

Рейтингова оцінка здобувача складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю та заохочувальних балів.

Види контролю:

- Поточний контроль: звіти лабораторних робіт, модульна контрольна робота (МКР).
- Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання силабусу.
- Семестровий контроль – залік.

Максимальна кількість балів, яку здобувач може отримати за семестр становить 60. Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи або співбесіди.

Після виконання залікової контрольної роботи, якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, здобувач отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи.

Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, попередній рейтинг здобувача скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи.

Критерії нарахування балів.

Практичні роботи.

До кожної лабораторної роботи студент повинен підготувати протокол, який складається із:

- номера;
- назви;
- мети;
- теоретичних відомостей, до яких включають основні визначання та умовні позначення;
- порядок виконання.

За дистанційної форми навчання напередодні заняття студенти завантажують написаний від руки протокол до GoogleClassRoom для перевірки. На занятті студенти допускаються до тестів з теорії лабораторної роботи. Після чого викладач проводить презентацію online для ознайомлення студентів із обладнанням і алгоритмом проведення лабораторної роботи. В кінці

лабораторної роботи студенти отримують доступ до результатів досліджу. У продовж тижня студенти оформляють протокол лабораторної роботи відповідно до вимог завдання і завантажують на перевірку до GoogleClassRoom.

За очної і дистанційної форми навчання кожна виконана і оформлена лабораторна робота оцінюється максимально у 100 балів за такими критеріями:

- підготовлений до лабораторної роботи протокол у відповідності до вимог – 10 балів;
- знання теорії лабораторної роботи – 30 балів;
- виконання лабораторної роботи, проведення розрахунків за результатами досліджу та їх обговорення – 50 балів;
- оформлення результатів відповідно до вимог і захист – 10 балів.

Штрафні бали призначаються за:

- відсутність протоколу – 10 балів;
- протокол, що не відповідає вимогам – 5 балів;
- несамостійна робота на лабораторному занятті – 5 балів.

Ваговий коефіцієнт оцінювання результатів виконання лабораторних робіт складає 0,15

Поточний контроль:

- Експрес-опитування або тестування на лекційних заняттях – максимум 2 бали, всього 26 балів. Бали за опитування на пропущених лекціях компенсуються виконанням конспекту реферату

- Модульна контрольна робота проводиться на 7-му навчальному тижні (Додаток А).

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен (Додаток Б)

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 60 балів за умови виконання усіх лабораторних робіт та кількості балів за видами:

- Лекційні заняття не менше 16 балів.
- Модульна контрольна роботи не менше 14 балів.
- Лабораторні роботи не менше 30 балів.

Для підвищення рейтингової оцінки студент може написати залікову контрольну роботу. В цьому випадку студенту надається право вибору між оцінкою попереднього рейтингу і оцінкою

залікової контрольної роботи. студента скасовується і він отримує оцінку залікової

контрольної роботи. Відповідність рейтингових балів оцінкам наведена в таблиці. Поточний контроль: - Експрес-опитування або тестування на лекційних заняттях – максимум 2 бали, всього 26 балів. Бали за опитування на пропущених лекціях компенсуються виконанням конспекту реферату - Модульна контрольна робота проводиться на 7-му навчальному тижні. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Семестровий контроль: залік Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 60 балів за умови виконання усіх лабораторних робіт та кількості балів за видами: - Лекційні заняття не менше 16 балів. - Модульна контрольна робота не менше 14 балів. - Лабораторні роботи не менше 30 балів. Для підвищення рейтингової оцінки студент може написати залікову контрольну роботу. В цьому випадку студенту надається право вибору між оцінкою попереднього рейтингу і оцінкою залікової контрольної роботи. студента скасовується і він отримує оцінку залікової контрольної роботи. Відповідність рейтингових балів оцінкам наведена в таблиці.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено асистентом кафедри ВТМ та ПМ, PhD Тесля Сергій Юрійович.

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 17 від 26 червня 2024 р.)

Погоджено Методичною комісією Навчально-наукового Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона (протокол №12/24 від 28.06.24 р.)

Запитання для модульної контрольної роботи

1. Що розуміється під терміном «геометрична оптика»?
2. Накресліть схему ходу променів крізь скляну лінзу. Поясніть, які положення геометричної оптики ілюструє Ваша схема.
3. Накресліть схему ходу променів крізь скляну лінзу за сферичною аберацією. Чому ця аберация утворюється? Які методи зменшення цього дефекту Ви знаєте?
4. Накресліть схему ходу променів крізь скляну лінзу за хроматичною аберацією. Чому ця аберация утворюється? Які методи зменшення цього дефекту Ви знаєте?
5. Будова та принцип роботи вакуумного турбомолекулярного насосу?
6. Будова та принцип роботи форвакуумного та дифузійного насосів?
7. Будова електронної гармати. Які функції виконує анод та циліндр Венельта?
8. Пояснити принцип роботи розгортки растрового електронного мікроскопу? Детектори вторинних та відбитих електронів?
9. Ключові відмінності між термо та польвоою емісією електронів. Будова катодного вузла мікроскопів з високою роздільною здатністю?

Перелік питань для екзамену

з дисципліни “Методи дослідження фізичних властивостей матеріалів”

1. Що розуміється під терміном «геометрична оптика»?
2. Накресліть схему ходу променів крізь скляну лінзу. Поясніть, які положення геометричної оптики ілюструє Ваша схема.
3. Накресліть схему ходу променів крізь скляну лінзу за сферичною аберацією. Чому ця аберация утворюється? Які методи зменшення цього дефекту Ви знаєте?
4. Накресліть схему ходу променів крізь скляну лінзу за хроматичною аберацією. Чому ця аберация утворюється? Які методи зменшення цього дефекту Ви знаєте?
5. Чому утворюється дифракційна помилка? Як її зменшити?
6. Проведіть оптимізацію оптичної системи за сферичною аберацією та дифракційною помилкою.
7. Проведіть оптимізацію оптичної системи за хроматичною аберацією та дифракційною помилкою.
8. Поясніть зі схемою, що таке роздільна властивість оптичної системи.
9. Поясніть зі схемою, що таке глибина різкості оптичної системи.
10. Які складові частини TEM Ви знаєте? Яке їх призначення?
11. Як побудована та як працює електронна гармата EM?
12. Як побудована та як працює електронна лінза EM?
13. Як побудована та як працює стигматор електронної лінзи?
14. Як регулюється збільшення TEM?
15. Як утворюється картина електронної мікродифракції в TEM?
16. Яку інформацію отримуємо за допомогою електронної мікродифракції?
17. Поясніть зі схемою, які системи входять в PEM.
18. Як утворюється збільшене зображення дослідного зразка в PEM?
19. Як регулюється коефіцієнт збільшення в PEM?
20. Які види випромінювання утворюється при взаємодії електронного пучка з твердотільною мішенню?