



Електронно-зондові методи дослідження речовини та матеріалів (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>I курс, весняний семестр</i> |
| Форма навчання | <i>Очна(денна)</i> |
| Рік підготовки, семестр | <i>I курс, весняний семестр</i> |
| Обсяг дисципліни | <i>5 кредити ECTS, 36 годин лекцій, 18 годин лабораторного практикуму</i> |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи | <i>Залік /Модульна контрольна робота</i> |
| Розклад занять | <i>http://rozklad.kpi.ua</i> |
| Мова викладання | <i>Українська</i> |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | <i>Лектор: д.т.н. проф. Мазур Владислав Іустинович mail:amico.f@outlook.com; vlima-iff@iff.kpi.ua Лабораторний практикум: д.т.н. проф. Мазур Владислав Іустинович</i> |
| Розміщення курсу | <i>https://classroom.google.com/</i> |

Програма навчальної дисципліни

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

Вивчаючи дисципліну, студенти узагальнюють власні знання з різних дисциплін та долучаються до світового досвіду теорії та практичного використання електронно-зондових методів дослідження матеріалів з урахуванням технічних, технологічних, економічних та екологічних факторів. Студенти одержують важливий досвід з використання традиційних і нових електронно-мікроскопічних методів дослідження провідними технічними університетами. 150 годин обсягу дисципліни включають 36 годин лекцій, 18 годин лабораторного практикуму і 96 годин СРС.

Метою викладання навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- обґрунтовано здійснювати вибір електронно-зондових методів дослідження;
- обґрунтовано здійснювати вибір основних технологій підготовки, оброблення експериментальних зразків;
- досліджувати зразки на електронно-зондових приладах різного типу;
- читати та розшифровувати мікрокартини зі світловим та електронно-мікроскопічним контрастом,

а також розвиток загальних компетентностей, які полягають у:

- здатності до системного мислення, аналізу та синтезу
- здатності виявляти, ставити та вирішувати проблеми

- здатності генерувати нові ідеї та реалізовувати їх у вигляді обґрунтованих інноваційних рішень
- здатності використовувати новітні інформаційні технології
- здатності до подальшого автономного та самостійного навчання на основі новітніх науково-технічних досягнень

Предметом вивчення дисципліни є будова та принципи дії електронно-зондових приладів, принципи формування дифракційних картин та методи їх розшифровки

Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен знати:

- Принципи роботи електронно-зондових приладів дослідження різного типу та призначення, розроблення та використання фізичних та математичних моделей мікро і наноструктури матеріалів
- Принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями, що приймаються для розв'язання складних матеріалознавчих задач
- Іноземну мову на рівні, який забезпечує можливість спілкування у професійному середовищі та користування науковою та науково-технічною документацією в предметній області

Студент повинен уміти:

- 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)

Дисципліна викладається в другому семестрі підготовки за освітньою (освітньо-професійною та освітньо-науковою) програмами підготовки магістрів. Для успішного засвоєння дисципліни, студент повинен володіти набором компетентностей бакалаврського рівня

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 науково-дослідній роботі студентів, дипломних роботах та проектах.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна – «Електронно-зондові методи дослідження речовини і матеріалів» містить два змістовних модуля: «Трансмійсна електронна мікроскопія» та «Растрова електронна мікроскопія та рентгеноспектральний мікроаналіз»

Розділ 1. Трансмійсна електронна мікроскопія

Вступ. Основи геометричної оптики

Основні поняття геометричної оптики та кількісні параметри оптичних приладів. Аберації та астигматизм. Методи їх зменшення.

Трансмісійна електронна мікроскопія. Принципи роботи, будова та юстировка трансмісійного електронного мікроскопу. Тіньовий та дифракційний контраст. Мікродифракція. Темне поле. Читання та розшифровка електронно-мікроскопічних та мікродифракційних картин.

*Розділ 2. Растрова електронна мікроскопія та рентгеноспектральний мікроаналіз
Принципи роботи, будова та юстировка растрового електронного мікроскопу - мікроаналізатору. Режими роботи РЕМ: SE та BSE. Характеристичне рентгенівське випромінювання. Енергетична та хвильова дисперсія. Їх позитивні якості та недоліки. Робота на РСМА. Розшифровка результатів дослідження.*

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

4.1 Основна.

1. *Хирш П. Электронная микроскопия тонких кристал лов // 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.*
5. *Ворончев Т.А. Физические основы электровакуумной техники.- Москва: Высшая школа, 1967.- 352 с.*

4.2 Додаткова література

6. Деркач В.П.. Электронно-зондовые устройства / Деркач В.П., Кияшко Г.Ф., Кухарчук М.С. – Киев: Наукова думка, 1974.- 267 с.

Базові навчальні матеріали є у вільному доступі бібліотеці НТУ КПІ ім.. Ігоря Сікорського і у мережі інтернет.

4.3 Електронні ресурси

7. [www.MyScore>TransmissionElectronMicroscope](#). Доступний україномовний переклад.
8. [www.MyScore>Scanning Electron Microscope](#).Доступний україномовний переклад.
9. [www.MyScore>ScanningProbe](#). Доступнийукраїномовний переклад.

10. Мазур В.І. Електронна презентація «Електронна мікроскопія та рентгеноспектральний мікроаналіз».

Рекомендується ознайомитись зі змістом вказаних базових та додаткових джерел, більш глибоко опрацювати рекомендовані викладачем розділи, що відповідають тематиці лекцій та/чи комп'ютерних практикумів. Для окремих розділів доцільно створити електронний конспект

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

5.1. Зміст лекційних занять

Розділ 1. Трансмійсна електронна мікроскопія (ТЕМ)

Тема 1.1. ТЕМ

Лекція 1. Основи геометричної оптики

Значення основ геометричної оптики для вивчення електронної мікроскопії. Закони ходу світлового променя крізь лінзу. Сферична та хроматична аберація.

Література: Електронний ресурс [7].

Електронна презентація.

Лекція 2. Роздільча властивість оптичної системи. Дифракційна помилка. Глибина різкості. Оптимізація оптичної системи.

Література: Електронна презентація

Лекція 3-6. Трансмійсна електронна мікроскопія

Будова ТЕМ. Основні системи трансмісійного електронного мікроскопу: колона, Система високостабільного живлення колони, система високовольтного живлення електронної гармати, вакуумна система, система блоківровок, гідравлічна система.

Двопроменева модель формування електронно-оптичного контрасту. Отримання зображення в світлому та темному полі. Мікродифракція. Розшифровка мікродифракційних картин.

Література: [4] с. 204 -208, [6] с. 94-115. Електронна презентація. Електронний ресурс [7].

Лекція 7.

Дослідження твердотільних об'єктів на ТЕМ. Розшифровка мікроструктурних тіньових та дифракційних картин.

Література: [1] по вибору; [4] с. 213 -220. Електронна презентація.

Електронний ресурс [7].

Розділ 2. Растрова електронна мікроскопія

Тема 1.2. РЕМ. Загальні відомості

Лекція 8. Взаємодія електронного променя з твердотільною мішенню. Типи випромінювань, що генеруються та їх використання в РЕМ.

Лекція 9. Принципи дії структурних систем та будова РЕМ.

Режими роботи РЕМ.

Література: [2], [3] с. 65-130. Електронна презентація.

Електронний ресурс [8].

Тема 2.2. Робота на РЕМ

Лекція 10. Експериментальна робота на РЕМ.

Робота на симуляторі РЕМ та аналіз отриманих результатів.

Література: [3] с. 65-130, [6] 159-163. Електронна презентація. Електронний ресурс [8].

Розділ 3. Рентгеноспектральний мікроаналізатор (РСМА)

Тема 3.1. Взаємодія електронного променю та твердотільної мішені

Лекція 11. Взаємодія електронного променю та твердотільної мішені. Характеристичне рентгенівське випромінювання, що генеруються при взаємодії електронного променю та твердотільної мішені. Енергетична та хвильова дисперсія характеристичного рентгенівського випромінювання та їх використання для хімічного аналізу. Їх переваги та недоліки.

Література: [2] с. 63-112, [6] . Електронна презентація.
Електронний ресурс [9].

Тема 3.2. Принцип дії та будова РСМА

Лекція 12, 13. Принцип дії та будова рентгеноспектрального мікроаналізатора.

Література: [3] с. 221-270. Електронна презентація.
Електронний ресурс [9].

Лекція 14. Принцип дії, будова та робота хвильового спектрометра РСМА.

Лекція 15. Принцип дії, будова та робота детекторів рентгенівського характеристичного випромінювання.

Література: [3] с. 221-270. Електронна презентація.
Електронний ресурс [9].

Тема 3.3. Робота на РСМА та аналіз отриманих результатів

Лекція 16-18. Робота на РСМА в режимі енергетичної дисперсії та аналіз отриманих результатів.

Поняття про контраст електронно-оптичної картини та методи його підвищення. Амплітудна дискримінація. Вплив часу локальної експозиції та швидкості розгортки. Кількісний, напівкількісний та якісний методи дослідження. Підготовка об'єктів дослідження. Визначення хімічного складу фази. Визначення фазового складу об'єктів дослідження. Обговорення розподільчої властивості методу: по площині; по глибині.

Література: [3] с. 221-270. Електронна презентація.
Електронний ресурс [9].

5.2 Теми лабораторних занять

Заняття 1. Лабораторна робота 1. Основи геометричної оптики - 2 години

Заняття 2. Лабораторна робота 2. Трансмісійний електронний мікроскоп. Теорія та робота на електронному симуляторі – 2 години; www.MyScope>TransmissionElectronMicroscope

Заняття 3. Лабораторна робота 2. Трансмісійний електронний мікроскоп. Теорія та робота на електронному симуляторі – 2 години; www.MyScope>TransmissionElectronMicroscope

Заняття 4. Модульна контрольна робота на 7 тижні - 2 години

Заняття 5. Лабораторна робота 3. Растровий електронний мікроскоп. Теорія та робота на електронному симуляторі – 2 години; www.MyScope>ScanningElectronMicroscope

Заняття 6. Лабораторна робота 3. Растровий електронний мікроскоп. Теорія та робота на електронному симуляторі – 2 години; www.MyScope>ScanningElectronMicroscope

Заняття 6. Лабораторна робота 4. Застосування характеристичного рентгенівського випромінювання для хімічного аналізу гетерогенних сплавів - 2 години; www.MyScope>ScanningProbe

Заняття 7. Лабораторна робота 5. Рентгеноспектральний мікроаналізатор. Теорія та робота на електронному стимуляторі -2 години; www.MyScope>ScanningProbe.

Заняття 8. Лабораторна робота 5. Рентгеноспектральний мікроаналізатор. Теорія та робота на електронному стимуляторі -2 години; www.MyScope>ScanningProbe.

Перед початком практичної роботи студенти повинні вивчити теоретичний матеріал, наданий на лекції, прочитати літературу, подивитися електронний ресурс [7-9]. При роботі на симуляторі керуватися вказівками викладача та командного рядка симулятора. Результати роботи (схеми, мікрофотографії та графіки) надіслати на свою ел. пошту і розмістити у звіті. Звіт оформляється у текстовому редакторі. Інші деталі див. п. 7.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 96 годин) з дисципліни полягає в

- *Підготовка до лекцій, яка полягає в самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для фокусування розглянутих методів електронно-мікроскопічного аналізу на власні наукові дослідження, що відповідають напрямку магістерської роботи – в розрахунку 2 година на лекційне заняття, тобто 36 годин;*
- *підготовці до виконання комп'ютерних практикумів, яка полягає в написанні протоколу, в розрахунку 2 година на 1 годину виконання лабораторного практикуму, тобто 36 годин;*
- *підготовка до тематичних контрольних робіт - 6 годин;*
- *підготовці до підсумкової атестації – заліку (18 годин).*

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- *Відвідування усіх видів занять є обов'язковим.*
- *Пропущене без поважної причини лекційне заняття студент повинен відпрацювати шляхом написання конспекту об'ємом 5-8 тис. знаків, не враховуючи рисунків та таблиць;*
- *Завдання пропущеного лабораторного практикуму студент повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.*
- *Завдання пропущеного лабораторного практикуму студент повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.*
- *Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час комп'ютерних практикумів дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних хмарних ресурсів, тощо.*
- *Результати виконаних лабораторних практикумів оформлюються у вигляді звітів з застосуванням текстового редактора. Звіт супроводжується формулами, графіками та мікрофотографіями, пересланими електронною поштою з екрану електронного симулятора на комп'ютер виконувача роботи – елементами, які підтверджують виконання завдань та одержані результати. За дистанційної чи змішаної форми навчання звіт оформлюється засобами googledocs, після чого надається доступ для редагування для викладача. За звичайної аудиторної форми навчання звіт виконується в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надається у роздрукованому вигляді. Безпосередній захист 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 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 за пропущену лекцію має бути виконаний і поданий на перевірку не пізніше 2-х тижнів з часу пропущеної лекції. Звіти з комп'ютерних практикумів 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 студенти в процесі роботи вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

Перескладання заліку проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» відповідно до графіку перескладань оприлюдненому на сайті ІМЗ ім. Є. О. Патона.

5. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

а. Види контролю:

- Поточний контроль: практичні роботи, модульна контрольна робота (МКР)
- Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
- Семестровий контроль: залік

Кожний вид робіт оцінюється за 100-бальною шкалою. Коефіцієнти вагомості наведено у формулі

$$O_{\text{семестр}} = 0,15 \sum O_{\text{ПР}} + 0,15 O_{\text{МКР}}$$

б. 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 досліду. 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 досліду 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.

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

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 комп'ютерних практикумів та кількості балів за видами:

- *Лекційні заняття не менше 14*
- *Модульні контрольні роботи не менше 14*
- *Комп'ютерні практикуми не менше 26 балів.*

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: професор каф. Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, д.т.н., проф. Мазур Владислав Іустинович

Ухвалено кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

(протокол №)

Погоджено Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О.Патона (протокол №)

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 аберація утворюється? Які методи зменшення цього дефекту Ви знаєте?*
- 4. Накресліть схему ходу променів крізь скляну лінзу за хроматичною аберацією. Чому ця аберація 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?*

Запитання для залікової 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 аберація утворюється? Які методи зменшення цього дефекту Ви знаєте?
4. Накресліть схему ходу променів крізь скляну лінзу за хроматичною аберацією. Чому ця аберація 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?
21. Які види дисперсії характеристичного рентгенівського випромінювання Ви знаєте?
22. Які переваги і недоліки енергетичної та хвильової дисперсії характеристичного рентгенівського випромінювання?
23. Що таке контрастність сигналу на графіках енергетичної та хвильової дисперсії характеристичного рентгенівського випромінювання?
24. Які методи підвищення контрасту слабких сигналів на графіках енергетичної та хвильової дисперсії характеристичного рентгенівського випромінювання Ви знаєте?
25. Як впливає швидкість розгортки на контраст мікроструктурних картинах в PEM?