

**Силабус курсу «МІКРОСКОПІЧНІ МЕТОДИ
В СУЧАСНОМУ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВІ»
2021–2022 н.р.**

Назва курсу	Мікроскопічні методи в сучасному матеріалознавстві
Адреса викладання курсу	вул. Кирила і Мефодія 8, 79005 Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра фізики металів
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	10 Природничі науки / 104 Фізика та астрономія
Викладачі курсу	доцент кафедри фізики металів, к.ф.-м.н Никируй Юлія Семенівна
Контактна інформація викладачів	yuliya.nykyruy@lnu.edu.ua
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/mikroskopichni-metody-v-suchasnomu-materialoznavstvi
Інформація про курс	Курс розроблено таким чином, щоб надати учасникам відповідні теоретичні знання, уміння, навички, загальні та фахові компетентності для проведення досліджень будови матеріалів на мікро- та наноструктурному рівні. Курс охоплює методи дослідження основані на використанні різних видів мікроскопів, зокрема електронних та зондових, і методики підготовки зразків для таких досліджень. У програмі курсу викладено сучасні досягнення науки і техніки в галузі мікроскопії та передові результати досліджень будови речовини, що базуються на найновіших теоретичних та експериментальних даних, опублікованих у періодичних наукових виданнях. Для кращого засвоєння теоретичного матеріалу і формування вмінь, передбачено виконання лабораторних робіт, що дасть змогу студентам оволодіти сучасними методами мікроскопічних досліджень матеріалів.
Коротка анотація курсу	Дисципліна « Мікроскопічні методи в сучасному матеріалознавстві » є дисципліною зі спеціальності 104 Фізика та астрономія для другого (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, яка викладається в 2 семестрі в обсязі 4,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). Зміст курсу: <ul style="list-style-type: none"> • Взаємодія електронного пучка з матеріалом. Типи та будова електронних мікроскопів, основні вузли. Сканувальна електронна мікроскопія (SEM). Особливості формування зображень у вторинних і зворотно відбитих електронах. • Характеристичне рентгєнівське випромінювання. Рентгєнівський мікроаналіз. Сканувальний Оже-мікроскоп і особливості формування зображень у Оже- електронах. • Просвітлювальна електронна мікроскопія (ПЕМ). Будова і принцип роботи просвітлювального (трансмїсійного) електронного мікроскопа. • Електронограф. Дифракція електронів на просвіт і відбивання.

	<p>Дифракція від вибраної ділянки, метод сканувальної трансмісійної електронної мікроскопії.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Термоелектронна емісійна мікроскопія. • Сканувальні зондові мікроскопи (СЗМ). Атомно-силова мікроскопія (АСМ). Будова і принцип роботи атомно-силового мікроскопа. • Тунельна мікроскопія. Будова і принцип роботи сканувально тунельного мікроскопа (СТМ). • Магнітно-силова мікроскопія (МСМ). Будова і принцип роботи магнітно-силового мікроскопа, особливості побудови зображень магнітно-силовим мікроскопом.
<p>Мета та цілі курсу</p>	<p>Метою і завданням навчальної дисципліни “Мікроскопічні методи в сучасному матеріалознавстві” є формування необхідних теоретичних знань і практичних навиків використання мікроскопічних методів у дослідженні структури матеріалів, вміння аналізувати структуру матеріалів та топологію поверхневих дефектів методами просвітлювальної (трансмісійної) електронної мікроскопії (ТЕМ), дифракції електронів, сканувальної електронної мікроскопії (СЕМ), сканувальної зондової мікроскопії (СЗМ), термоелектронної мікроскопії. Дати знання про будову і фізичні принципи роботи електронних мікроскопів, рентгенівських мікроаналізаторів, Оже-мікроскопів, зондових (тунельних, атомно-силових та магнітно-силових), та термоелектронних мікроскопів. Вміння виготовляти зразки для електронно-мікроскопічних і електронно-графічних досліджень методами конденсації молекулярних пучків, виготовлення одноступеневих і багатоступеневих реплік.</p>
<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. О.Я. Тузьяк, В.Ю. Курляк. Основи електронної та зондової мікроскопії: навч. посібник/ Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012.- 296 с. 2. Локальні методи досліджень [Електронний ресурс]: підручник для студентів спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / Загородній В.В.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6.40 Мбайт) – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 323 с. 3. Горячко А. М., Кулик С. П., Прокопенко О. В. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії (Частина 2): Навчальний посібник / за ред. С.П. Кулика та О.В. Прокопенка. – К.: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2012. – 170 с 4. Прикладне матеріалознавство : навчальний посібник. / Т. Ф. Архіпова, А. Ю. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 60 с. 5. Мікроскопія в нанотехнологіях [Текст]: / В.С. Антонюк, Г.С. Тимчик, О.В. Верцанова [та ін.] //– К. : НТТУ «КПІ», 2014. – 258 с. : іл.– 157. Бібліогр. : С.245-258. 6. Хрипунов С.Г., Зайцев С.Г., Хрипунова А.Л., Кіріченко М.В., Момотенко О.В. Фізичне матеріалознавство для мікро та наноелектроніки: дослідження структури тонких плівок методами скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії. Навчальний посібник. Том 2. – Харків: НТУ"ХП", 2014. – 198 с. <p>Інформаційні ресурси:</p>

	<p>1. www.nanohub.org</p> <p>2. www.nbuu.gov.ua/portal/natural/nano/</p> <p>1. http://www.nbuu.gov.ua/ – Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського.</p> <p>2. http://www.lsl.lviv.ua/ / - Львівська національна наукова Бібліотека України імені В. Стефаника</p> <p>3. https://lnulibrary.lviv.ua</p>
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	138 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 32 годин практичних занять, та 87 годин самостійної роботи
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення цього курсу магістр буде знати: будову і принципи роботи електронних, зондових, термoeмісійних мікроскопів, методи виготовлення зразків та реплік, методику розшифровки електроннограм, електронно мікроскопічних зображень. Взаємодію падаючих електронів з речовиною, фізичні принципи розсіяння швидких і повільних електронів речовиною, вторинні електрони, рентгенівське і катодне випромінювання, рентгенівські мікроаналізатори; межі застосування зазначених методів досліджень</p> <p>вміти: проводити експериментальні дослідження матеріалів різного типу зазначеними методами і аналізувати отримані результати. Виготовляти зразки для електронно-мікроскопічних і електронно-графічних досліджень методами конденсації молекулярних пучків, виготовлення одноступеневих, двоступеневих і багаступеневих реплік. Одержувати електроннограми і електронно мікроскопічні знімки. Проводити розшифровку електроннограм і електронноскопічних знімків на основі кінетичної і динамічної теорії розсіяння електронів.</p>
Ключові слова	Метод функціоналу густини, метод Монте-Карло, нанотрубки, нанострічки, нанокластери, оптимізація геометрії
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у табл.1 і табл. 2
Підсумковий контроль, форма	іспит в кінці семестру комбінований
Пререквізити	Для вивчення дисципліни необхідні знання з молекулярної фізики, оптики, електрики і електродинаміки, матеріалознавства, а також з фундаментальних математичних дисциплін
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	<p>Використовуються такі методи навчання:</p> <p>а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт;</p> <p>б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу таблицями, схемами та графіками, зображеннями;</p> <p>в) <i>практичні</i> – виконання практичних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань, перевірки певних наукових гіпотез на рівні досліджень, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок інтерпретації результатів досліджень різноманітних об'єктів.</p>
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, операційні системи (Windows),

<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>загальноживані комп'ютерні програми, проектор</p> <p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • поточний контроль (2 контрольні роботи по 5 балів) 10 балів, • оцінку відповідей на лабораторних заняттях (контроль за виконанням лабораторних робіт шляхом тестового допуску до лабораторної роботи – 2 бали, захист лабораторної роботи –3 бали). 40 балів • Іспит (2 питання по 25 балів кожне) разом 50 балів. <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100</p>
<p>Питання до екзамену</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Як формується електронний пучок. Засоби управління електронним пучком 2. Будова і принцип роботи трансмісійного електронного мікроскопа (ПЕМ). Особливості формування та аналізу ТЕМ-зображення. 3. Будова і принцип роботи сканувального електронного мікроскопа. Фокусування та керування електронним променем. Роздільна здатність СЕМ 4. Взаємодія електронного пучка з матеріалом. Область взаємодії. Сигнали, що виникають внаслідок взаємодії. Чим зумовлений контраст зображення сформованого кожним із цих сигналів 5. Опишіть метод дослідження структури за допомогою вторинних електронів 6. Особливості дослідження структури методом зворотно-відбитих електронів 7. Будова і принцип роботи сканувального зондового мікроскопа. Особливості аналізу поверхні методом СЗМ. Як формується зображення в сканувальному зондовому мікроскопі. 8. Електронограф. Дифракція електронів на просвіт і відбивання. Дифракція від вибраної ділянки, метод сканувальної трансмісійної електронної мікроскопії. 9. Принцип роботи сканувального зондового мікроскопа. Назвіть основні складові частини. Опишіть режими роботи атомно-силового мікроскопа. 10. Тунельна мікроскопія. Будова і принцип роботи сканувального тунельного мікроскопа (СТМ). 11. Види зондової мікроскопії. Магнітно-силового мікроскопія. Особливості формування та аналізу МСМ-зображень 12. Принцип роботи магнітного зондового мікроскопа. Назвіть основні складові частини. Як проводять дослідження за допомогою МЗМ? 13. Основні принципи Оже-мікроскопії. Формування та аналіз Оже-зображень. Що таке Оже-електрони? 14. Контраст і роздільна здатність електронно-мікроскопічних зображень. Порівняйте роздільну здатність зображень отриманих за допомогою зворотно-відбитих, вторинних та оже-електронів (при однаковій напрузі катоду).

	<p>15. Дослідження структури методом електронної дифракції. Отримання та розшифровка електроннограм</p> <p>16. Особливості дослідження структури за допомогою характеристичного рентгенівського випромінювання.</p> <p>17. Підготовка зразків для дослідження методом ПЕМ (вимоги до зразка, механічна обробка, травлення)</p> <p>18. Напилення тонких плівок для дослідження методом ПЕМ. Будова та принцип роботи обладнання для вакуумного напилення.</p> <p>19. Репліки для ПЕМ. Види реплік та методи їх отримання. Опишіть спосіб отримання репліки методом напилення у вакуумі.</p> <p>20. Будова і принцип роботи термоелектронного емісійного мікроскопа. Особливості формування та аналізу ТЕЕМ-зображень.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Мікроскопічні методи в сучасному матеріалознавстві»

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1,2	Тема 1. Взаємодія електронного пучка з матеріалом. Типи та будова електронних мікроскопів, основні вузли. Сканувальна електронна мікроскопія (SEM). Особливості формування зображень у вторинних і зворотно відбитих електронах.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
3,4	Тема 2. Характеристичне рентгенівське випромінювання. Рентгенівський мікроаналіз. Сканувальний Оже-мікроскоп і особливості формування зображень у Оже- електронах.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
5,6	Тема 3. Трансмійна електронна мікроскопія (TEM). Будова і принцип роботи просвітлювального (трансмійного) електронного мікроскопа.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
7,8	Тема 4. Електронограф. Дифракція електронів на просвіт і відбивання. Дифракція від вибраної ділянки, метод сканувальної трансмісійної електронної мікроскопії.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
9,10	Тема 5. Термоелектронна емісійна мікроскопія.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
11,12	Тема 6. Сканувальні зондові мікроскопи (СЗМ). Атомно-силова мікроскопія (АСМ). Будова і принцип роботи атомно-силового мікроскопа.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
13,14	Тема 7. Тунельна мікроскопія. Будова і принцип роботи сканувального тунельного мікроскопа (СТМ).	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
15, 16	Тема 8. Магнітно-силова мікроскопія (МСМ). Будова і принцип роботи магнітно-силового мікроскопа, особливості побудови зображень магнітно-силовим мікроскопом.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні

Таблиця 2

Теми лабораторних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	Вступне заняття. Техніка безпеки та правила поведінки у лабораторії мікроскопічного аналізу. Сучасні підходи до облаштування лабораторії та організації дослідження.	лабор. заняття – 8 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
2	I. Ознайомлення із конструкцією та системою управління емісійно-польовим сканувальним електронним мікроскопом (FESEM)) Hitachi S-4100. II. Вибір параметрів і режимів роботи	лабор. заняття – 8 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні

	сканувального електронного мікроскопа для отримання контрастних СЕМ-зображень зразків з різною провідністю.		
3	I. Ознайомлення з конструкцією і системами управління трансмісійним електронним мікроскопом УЕМВ-100К. II. Підготовка та налаштування ТЕМ для мікроскопічного дослідження і для роботи в режимі електронографа.	лабор. заняття – 8 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
4	Визначення сталої електронографа.	лабор. заняття – 8 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
5	Розшифровка електронограм від полікристалічних зразків	лабор. заняття – 8 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
6	Вивчення будови та принципу роботи вакуумного поста для наплення ВУП та ЕВП-2	лабор. заняття – 8 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
7	Наплення тонких плівок для дослідження на трансмісійному електронному мікроскопі.	лабор. заняття – 8 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
8	Виготовлення реплік з сколів монокристалів	лабор. заняття – 8 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні