



ДИФРАКЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія¹</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна) /дистанційна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ECTS / 150 годин, 36 годин лекцій, 18 годин лабораторних занять</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен / МКР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua (Лекція –1 раз на тиждень, лабораторне заняття – 1 раз на два тижні)</i>
Мова викладання	<i>Українська/Англійська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор технічних наук, професор, Юркова Олександра Іванівна, e-mail: yurkova2403@gmail.com ² Лабораторні: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Карасевська Ольга Павлівна, e-mail: karas31415@ukr.net
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=203943

Програма навчальної дисципліни

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

Вивчення навчальної дисципліни надає здобувачу можливість ознайомитися з сучасним рівнем наукових досліджень в області дифракційних методів дослідження наноматеріалів, поглибити професійну підготовку в межах спеціальності та освітньої програми, здобути додаткові результати навчання. Цю дисципліну варто вчити для того, щоб стати конкурентоспроможним фахівцем. Дифракційні методи дослідження дають пряму і найбільш об'єктивну інформацію про атомно-кристалічну будову твердого тіла. Володіючи цими методами, студент стає фахівцем, здатним вирішувати задачі встановлення взаємозв'язку між хімічним складом, внутрішньою будовою та різноманітними фізико-хімічними і механічними властивостями наноматеріалів.

¹ В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:

Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану. Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

² Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

Предмет дисципліни «Дифракційні методи дослідження наноматеріалів» – вивчення особливостей формування картин рентгенівської та електронної дифракції наноматеріалів, отриманих різними методами, та визначення на їх основі форми, розмірів, тонкої структури (зерен, кристалітів, мікронапружень, дислокаційної субструктури) у широкому інтервалі дисперсності; сучасні дифракційні методики контролю структурних змін в наноматеріалах на різних стадіях отримання.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів фахових компетентностей спеціальності таких як:

- здатність уявляти особливості формування рентгенівських та електронних дифракційних картин матеріалів, в т.ч. наноматеріалів, отриманих різними методами, та визначати на їх основі фазовий склад, структурний стан, розміри частинок, зерен, кристалітів, тонку структуру (розмір блоків, величину мікронапружень, щільність дислокацій, концентрацію дефектів пакування);*
- здатність отримати інформацію про структуру речовини, у т.ч. в наноструктурному стані, зі спектрів електромагнітного випромінювання (рентгенівсь-кого, електронного);*
- здатність обґрунтовано та аргументовано обирати сучасні методи та засоби аналізу і контролю структури, фазового та хімічного складу наноматеріалів і виробів з них;*
- здатність застосовувати сучасні дифракційні методики контролю структурних змін в наноматеріалах на різних стадіях їх отримання;*
- здатність проводити експериментальні дослідження структури наноматеріалів; аналізувати, систематизувати та представляти результати досліджень.*
- здатності працювати із дослідницьким устаткуванням, застосовуючи сучасні методи і методики експерименту у лабораторних та виробничих умовах для вирішення завдань в галузі матеріалознавства;*
- здатність проводити дослідження структури композитів і покриттів із наноматеріалів методами дифракційного експерименту із розумінням фізичної сутності і можливостей методів та критичним аналізом його результатів;*
- здатність проводити дослідницькі роботи, стандартизацію, сертифікацію наноматеріалів та виробів на підставі базових знань.*

Програмні результати навчання:

студенти мають продемонструвати знання:

- термінології рентгенівського та електронографічного дифракційного аналізу, фізичних основ взаємодії рентгенівського випромінювання та електронів з речовиною, теоретичних основ та можливостей основних сучасних методів рентгеноструктурного та електронографічного аналізу для дослідження структури матеріалів, в т.ч. наноматеріалів;*
- особливостей розсіювання рентгенівських променів та електронів атомами речовини, теоретичних основ дифракційних методів дослідження фазового складу, атомно-кристалічної структури та дефектів кристалічної будови наноматеріалів; впливу розмірів кристалітів на формування картини розсіювання рентгенівського випромінювання та електронів;*
- сучасних експериментальних методів та приладів дослідження структури наноматеріалів, умови реалізації та границі застосування методів;*
- основних розрахункових методик обробки результатів дифракційного експерименту;*
- можливостей дифракційних методів дослідження структури, їх точності, чутливості та локальності.*
- сучасних методик контролю структурних змін порошкових наноматеріалів як на стадії пресування, так і на стадії спікання.*

студенти повинні уміти:

- застосовувати отриманні знання для проведення експериментальних досліджень фазового складу, атомно-кристалічної структури та дефектів кристалічної будови наноматеріалів;*

- ставити та вирішувати завдання з проведення досліджень структури наноматеріалів дифракційними методами;
- обирати відповідні обладнання та методи дослідження для рішення конкретних практичних задач визначення структури наноматеріалів;
- використовувати дифракційні методи (рентгеноструктурний аналіз, електронографію/дифракційну електронну мікроскопію) для вивчення фазового складу, атомно-кристалічної структури та дефектів кристалічної будови наноматеріалів;
- використовувати основні розрахункові методики обробки результатів дифракційного експерименту на основі сучасних інформаційних технологій та критично аналізувати отримані експериментальні дані;
- застосовувати сучасні дифракційні методи визначення/дослідження/контролю основних параметрів структури наноматеріалів та обробляти експериментальні дані;
- опановувати і виконувати сучасні експериментальні методики контролю структурних змін наноматеріалів на різних стадіях отримання та обробки (пресування, спікання тощо).
- планувати матеріалознавчі дослідження, здійснювати статистичну обробку і статистичний аналіз результатів експериментів, обґрунтовувати висновки.

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

Дисципліна викладається в другому семестрі підготовки за освітньою програмою підготовки магістрів з матеріалознавства. Для успішного засвоєння дисципліни, студент повинен володіти набором компетентностей бакалаврського рівня.

Знання, що студент отримує під час вивчення дисципліни «Рентгенівський аналіз дисперсних матеріалів», є підґрунтям для проведення науково-дослідних робіт, виконання кваліфікаційних дипломних робіт та магістерських дисертацій при підготовці за спеціальністю «Матеріалознавство».

3. Зміст навчальної дисципліни

Надається перелік розділів і тем всієї **дисципліни**.

Дисципліна – «Дифракційні методи дослідження наноматеріалів» містить один змістовний модуль: «Дифракційні методи дослідження наноматеріалів»

Розділ 1. Вивчення твердого тіла на макроскопічному (суцільне середовище) та мікроскопічному (дискретне середовище) рівні.

Тема 1.1. Особливості кристалічного стану речовини. Кристалічна решітка..

Формули структурної кристалографії. Симетрія кристалів.

Розділ 2. Застосування дифракції рентгенівських променів для дослідження матеріалів

Тема 2.1. Властивості рентгенівських променів та їх практичне використання. Суцільний та характеристичний спектр та їх використання в рентгеноструктурному аналізі. Взаємодія рентгенівського випромінювання з речовиною. Закон ослаблення рентгенівських променів, поглинання та розсіювання Явища, що виникають під час проходження рентгенівських променів крізь речовину.

Тема 2.2. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів. Принципи основних методів рентгеноструктурного аналізу.

Тема 2.3. Теорія інтенсивності дифракційного розсіювання кристалами. Фактори інтенсивності.

Тема 2.4. Рентгенівський фазовий аналіз. Визначення індексів інтерференцій.

Тема 2.5. Прецизійне визначення параметрів кристалічної ґратки. Рентгенівський аналіз діаграм стану.

Розділ 3. Рентгенівські методи дослідження структури наноматеріалів

Тема 3.1. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів. Аналіз розширення профілю рентгенівських дифракційних максимумів.

Тема 3.2. Визначення розміру кристалітів та мікронапружень за розширенням дифракційних ліній.

Розділ 4. Застосування дифракції електронів для дослідження наноматеріалів

Тема 4.1 Електроннографічні / електронно-мікроскопічні дослідження структури наноматеріалів. Принципи електроннографічного/електронно-мікроскопічного аналізу. Взаємодія електронів з речовиною.

Тема 4.2 Формування дифракційної картини електронів, геометрія дифракційної картини. Особливості дифракційної картини наноматеріалів

Тема 4.3 Сучасні експериментальні прилади та методи дослідження структури наноматеріалів, умови реалізації та границі застосування методів..

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1 Базова

1. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 132 Матеріалознавство / Л.О. Бірюкович. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 234 с.

2. Кушта Г.П. Рентгенографія металів [Текст] / Г.П. Кушта. – Львов: Высшая школа, 1979. – 386 с.

3. Рентгеноструктурний аналіз матеріалів у дисперсному стані [Текст]: навчальний посібник / Уклад.: П.І. Лобода, О.П. Карасевська, І.Ю. Троснікова. – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 139 с.

4. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев – М.: МИСИС, 2002 (1994). – 328 с.

5. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия [Текст] / Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Расторгуев. – М.: Металлургия, 1994. – 632 с.

Перераховані книги є у вільному доступі в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського і можуть бути використані для отримання базових знань по рентгенівському аналізу дисперсних матеріалів.

4.2 Допоміжна

1. Структура і властивості твердого тіла [Текст]: Лабораторний практикум: Навч. посібник / О.Г. Алавердова, О.В. Арінкін, О.Ф. Богданова та ін. За ред. Л.С. Палатника. – К.: Вища школа, 1992. - 311 с.

2. Тейлор А. Рентгеновская металлография [Текст] (перевод с английского) / А. Тейлор. Ред. Б.Я. Пинес. – М.: Металлургия, 1965. – 663 с.

3. Шаскольская М.П. Кристаллография [Текст] / М.П. Шаскольская. – М.: Высшая школа, 1982. – 375 с.

4. Кушта Г.П.. Введение в кристаллографию [Текст] / Г.П. Кушта. – Львов: Высшая школа, 1976. – 237 с.

5. Русаков А.А. Рентгенография металлов [Текст] / А.А. Русаков. – М.: Атомиздат, 1977. – 480 с.

6. Cullity BD, Stock SR (2001) Elements of X-Ray Diffraction, 2nd edn. Pearson Education Limited, London. <https://www.pearson.com/us/higher-education/product/Cullity-Elements-of-X-Ray-Diffraction-3rd-Edition/9780201610918.html>

7. Yeh JW, Chang SY, Hong YD, Chen SK, Lin SJ (2007) Anomalous decrease in X-ray diffraction intensities of Cu-Ni-Al-Co-Cr-Fe-Si alloy systems with multi-principal elements. Materials Chemistry and Physics 103(41):41–46. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2007.01.003>

8. Ungar T. Characterization of nanocrystalline materials by X-ray line profile analysis, J. Mater. Sci. 42, 1584–1593 (2007). DOI <https://doi.org/10.1007/s10853-006-0696-1>

9. Ungar T. Microstructural parameters from X-ray diffraction peak broadening *Scripta Materialia* Volume 51, Issue 8, October 2004, Pages 777-781. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2004.05.007>

10. Гусев, А.И.. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. Изд.2-е, исправленное. М.: Физматлит, 2009. 416 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2173

11. Азаренков Н.А. Основы нанотехнологий и наноматериалов: учебное пособие [Текст] / Н.А. Азаренков, А.А. Вережкин, Г.П. Ковтун. – Х.: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2009. – 69 с.

12. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы [Текст] / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Академия, 2005. – 192 с.

Книги [1] – [5], [11], [12] зазначені у списку додаткових навчальних матеріалів, є у вільному доступі бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

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

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1 Зміст лекційних занять

Розділ 1. Вивчення твердого тіла на макроскопічному (суцільне середовище) та мікроскопічному (дискретне середовище) рівні.

Лекція 1. Вступ. Предмет, мета і завдання дисципліни. Дифракційні методи вивчення структури матеріалів та їх роль в розвитку фізичних основ матеріалознавства.

Література [1] с. 13-21; [2] с. 17-29; [4] с. 342-346.

Тема 1.1. Особливості кристалічного стану речовини. Кристалічна решітка. Формули структурної кристалографії. Симетрія кристалів

Лекція 2. Особливості кристалічного стану речовини. Кристалічна решітка та елементарна комірка. Співвідношення параметрів елементарної комірки. Сингонії та категорії. Базис просторової решітки. Координатне число. Елементи симетрії кристалічного простору (вузли, вузлові площини, вузлові вісі) та їх позначення. Находження індексів кристалографічних площин: індекси Вейса та Міллера Формули структурної кристалографії: Визначення міжплощинної відстані. Симетрія кристалів: Центр симетрії (центр інверсії), площина симетрії, вісь симетрії. (електронна презентація)

Література [1] с. 5-13; [3] с.102-111; [4] с. 317-328; с. 342-346.

Розділ 2. Застосування дифракції рентгенівських променів для дослідження матеріалів

Тема 2.1. Властивості рентгенівських променів та їх практичне використання. Суцільний та характеристичний спектр, їх використання в рентгеноструктурному аналізі. Взаємодія рентгенівського випромінювання з речовиною. Закон ослаблення рентгенівських променів, поглинання та розсіювання Явища, що виникають під час проходження рентгенівських променів крізь речовину.

Лекція 3. Природа, отримання та властивості рентгенівських променів та їх практичне використання. Способи реєстрації рентгенівського випромінювання. (електронна презентація)

Література [3] сс. 28-36; 41; 10-13; [6] с. 140-146.

Лекція 4. Спектральний склад рентгенівських променів. Суцільний рентгенівський спектр, його природа, властивості, загальні закономірності та використання. Характеристичний рентгенівський спектр, його природа, умови виникнення. Теорія характеристичного спектру та його особливості. Закон Мозлі та його застосування. Флуоресцентне (вторинне характеристичне) випромінювання (електронна презентація)

Література [3] с. 13-17; [2] [4] с. 317-328. [6] с. 143-146.

Лекція 5. Основний закон ослаблення рентгенівських променів. Лінійний та масовий коефіцієнти ослаблення. Шар половинного ослаблення. Край смуги поглинання рентгенівських променів. Фільтрація рентгенівського випромінювання. *(електронна презентація)*

Література: [4] с. 117-128. [5] с. 170-172, [6] с. 146-153,

Лекція 6. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною. Явища, що супроводжують проходження рентгенівських променів крізь речовину. Поглинання та розсіювання рентгенівського випромінювання. Фотоелектричний ефект, вторинне характеристичне випромінювання, оже-ефект. Класичне та квантове розсіяння рентгенівських променів. Виникнення електронно-позитронних пар. *(електронна презентація)*

Література: [4] с. 117-128, [5] с. 170-172; [6] с. 147-153

Тема 2.2. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів. Принципи основних методів рентгеноструктурного аналізу.

Лекція 7. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів. Розсіювання рентгенівських променів атомним рядом, атомною площиною, кристалічною решіткою. Рівняння Лауе. Рівняння Вульфа-Брегга та його застосування. Характеристика основних методів рентгеноструктурного аналізу: Лауе, обертового монокристала, полікристалів (метод Дебая-Шерера). *(електронна презентація)*

Література [3] с. 13-15; 129-131; [4] с. 117-128; [6] с. 218-250.

Тематична контрольна робота 1 (перелік питань на тематичну контрольну роботу у Додатку А).

Тема 2.3. Теорія інтенсивності дифракційного розсіяння кристалами. Фактори інтенсивності.

Лекція 8. Теорія інтенсивності дифракційного розсіяння кристалами. Розрахунок відносної інтегральної інтенсивності ліній рентгенограми полікристалічних матеріалів. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів: кутовий фактор, атомний фактор, структурна амплітуда розсіювання, структурний фактор. *(електронна презентація)*

Література [3] с.112-148. [5] с. 49-53, [6] с. 186-200

Лекція 9. Теорія інтенсивності дифракційного розсіяння кристалами. Аналіз структурної амплітуди простої решітки, ОЦК-, ГЦК- та ГЦУ- решітки. Закономірності інтегральних погасань. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів: повторюваності, температурний, поглинання. Ефект первинної екстинкції. *(електронна презентація)*

Література: [4] с. 117-128, [5] с. 49-53,

Тема 2.4. Рентгенівський фазовий аналіз. Визначення індексів інтерференцій.

Лекція 10. Рентгенограма як джерело інформації про будову речовини. Визначення фазового складу порошкових композицій. Точність і чутливість рентгенівського фазового аналізу. Основні етапи визначення атомно-кристалічної структури. Кількісний фазовий аналіз. Аналітичний метод індексування дифракційної картини. *(електронна презентація)*

Література [3] с. 383-406; [5] с. 80-104; [6] с. 57-67; [7] с. 275-289

Тема 2.5. Прецизійне визначення параметрів кристалічної ґратки. Рентгенівський аналіз діаграм стану.

Лекція 11. Прецизійне визначення періодів кристалічної ґратки. Методи прецизійного визначення періоду кристалічної ґратки. Метод графічної екстраполяції. Рентгенівський аналіз діаграм стану. Особливості дифракційної картини діаграм стану з необмеженою та обмеженою розчинністю компонентів, механічної суміші. Уточнення положення фазових границь на діаграмах стану. Типи твердих розчинів - заміщення, проникнення та вилучення. Визначення типу твердого розчину *(електронна презентація)*

Література [5] с. 42-49, [6] с. 245-247, с. 269-275

Розділ 3. Рентгенівські методи дослідження наноматеріалів

Тема 3.1. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів.

Аналіз розширення профілю рентгенівських дифракційних максимумів.

Лекція 12. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів. Особливості рентгенівської дифракційної картини в залежності від розміру зерен /блоків/ кристалітів. Визначення інтегральної або експериментальної ширини дифракційних ліній. Аналіз розширення профілю рентгенівських дифракційних максимумів. Інструментальна ширина та фізичне розширення дифракційних ліній. Фактори, що викликають розширення дифракційних ліній. (електронна презентація)
Література [3] с. 306-310; [9] с. 271-354.

Тема 3.2. Визначення розміру кристалітів та мікронапружень за розширенням рентгенівських дифракційних ліній

Лекція 13. Визначення розмірів кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання за розширенням дифракційних ліній. Мікрвикривлення кристалічної решітки. Розділення внеску дисперсності та мікрвикривлень у фізичне розширення дифракційних ліній. (електронна презентація)

Література [4] с.145-155; [7] с. 347-365.

Розділ 4. Застосування дифракції електронів для дослідження наноматеріалів

Тема 4.1. Електроннографічні / електронно-мікроскопічні дослідження структури наноматеріалів. Принципи електроннографічного/електронно-мікроскопічного аналізу. Взаємодія електронів з речовиною.

Лекція 14. Електроннографічні / електронно-мікроскопічні дослідження структури наноматеріалів. Принципи електроннографічного/електронно-мікроскопічного аналізу. Довжина хвилі електронів. (електронна презентація)

Література [4] с. 204-230; [5] с. 293-302; с. 424-548

Тематична контрольна робота 2 (перелік питань на тематичну контрольну роботу у Додатку А).

Лекція 15. Взаємодія електронів з речовиною. Особливості розсіювання електронів атомами речовини, електронна дифракція. Амплітуда атомного розсіювання електронів (електронна презентація)

Література [4] с.204-230; с. 424-435; [5] с. 293-302

Тема 4.2 Формування дифракційної картини електронів, геометрія дифракційної картини. Особливості дифракційної картини наноматеріалів.

Лекція 16. Формування дифракційної картини електронів, геометрія дифракційної картини. Основні розрахункові методи обробки результатів дифракційного експерименту. Обчислення міжплощинних відстаней, визначення індексів інтерференцій по електроннограмах (електронна презентація)

Література: [4] с. 204-230; [5] с. 293-302; с. 424-548

Лекція 17. Вплив розміру кристалітів на формування картини розсіювання електронів матеріалами, отриманими різними методами. Просвічувальна/Трансмісійна електронна мікроскопія для визначення геометричних параметрів і розмірів наночастинок. Будова електронного мікроскопу, режим мікродифракції та мікробразження. Основні області застосування електронної дифракції. Границі застосування та порівняння з рентгенівськими методами (електронна презентація)

Література: [4] с. 204-230; [5] с. 293-302; с. 435-448

Тема 4.3 Сучасні експериментальні прилади та методи дослідження структури наноматеріалів, умови реалізації та границі застосування методів.

Лекція 18. Сучасні експериментальні прилади та методи дослідження структури наноматеріалів, умови реалізації та границі застосування методів. Можливості дифракційних методів дослідження структури, їх точність, чутливість та локальність. Роль дифракційних досліджень в діагностиці структурних особливостей наноматеріалів

(електронна презентація)

Література: [4] с. 204-230; [5] с. 293-302; с. 435-448; [10] - [12]

5.1 Перелік тем лабораторних занять

ауд. год.

<i>Ознайомлення студентів з вимогами щодо підготовки до лабораторних занять, правилами оформлення протоколів та захисту лабораторних робіт.</i>	2
<i>Лабораторна робота 1. Дифракція рентгенівських променів на кристалічній структурі речовини.</i>	
<i>Лабораторна робота 2. Визначення кристалічної будови фазових складових речовини. Визначення кристалічної структури полікристалічної речовини кубічної та тетрагональної сингонії.</i>	2
<i>Лабораторна робота 3. Рентгенівський фазовий аналіз. Визначення якісного та кількісного фазового складу речовини.</i>	2
<i>Лабораторна робота 4. Напруження в речовині, їх класифікація. Визначення макронапружень в матеріалах рентгенівським методом.</i>	2
<i>Лабораторна робота 5, 6. Визначення мікронапружень та розмірів блоків/ділянок когерентного розсіювання (ДКР). Розділення їх вкладів в розподіл інтенсивності (розширення ліній) на дифрактограмі/рентгенограмі.</i>	4
<i>Лабораторна робота 7. Кристалографічні текстури у матеріалах та методи їх дослідження. Рентгенівський аналіз текстур у матеріалах.</i>	2
<i>Лабораторна робота 8. Рентгеноструктурний аналіз багатофазних композитів.</i>	2
<i>Лабораторна робота 9. Електронно-мікроскопічний аналіз. Розрахунок електроннограм полікристалів. Визначення кристалічної структури та фазового складу матеріалів.</i>	2

Всього: 18

6. Самостійна робота студента

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

- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем (35 годин);*
- підготовці до 2-х тематичних контрольних робіт (4 години)*
- підготовці до виконання лабораторних робіт, аналізу одержаних результатів та формулюванні висновків – в розрахунку 1,5 години на 1 годину виконання лабораторних занять (27 годин);*
- підготовці до підсумкової атестації – екзамену (30 годин).*

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентами:

- Відвідування усіх лабораторних занять є обов'язковим.*
- Завдання пропущеного лабораторного заняття 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*

Складено:

професором кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, доктором технічних наук, професором, Юрковою Олександрою Іванівною

Ухвалено:

кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії(протокол № __ від _____)

Погоджено:

Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О.Патона (протокол № __ від _____)

**ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ,
які виносяться на тематичні контрольні роботи**

Тематична контрольна робота 1:

1. Яка кількість атомів припадає на долю простої решітки, ОЦК, ГЦК?
2. Що таке базис просторової решітки, чим характеризується, як позначається?
3. Що таке координаційне число?
4. Як позначають вузли в кристалічній решітці, вузлові прямі, площини?
5. Індеси Вейса та Міллера. Находження індексів кристалографічних площин.
6. Міжплощинна відстань. Як визначається міжплощинну відстань через індекси площини і періоди решітки?
7. Квадратична форма для ромбічної, кубічної, тетрагональної, гексагональної системи.
8. Центр симетрії, площина симетрії, вісь симетрії.
9. Яка природа рентгенівських променів та як їх отримати?
10. Основні властивості рентгенівських променів.
11. Рівняння Вульфа-Брегга, які властивості рентгенівських променів воно описує?
12. Яку інформацію можна отримати за допомогою рівняння Вульфа-Брегга?
13. Яку інформацію отримують за дифрактограмою (рентгенограмою)?
14. Як розкласти рентгенівські промені в спектр? Типи спектрів рентгенівського випромінювання.
15. Як виникає суцільний спектр? Особливості суцільного спектра. Чим визначається спектральний склад суцільного спектра?
16. Як інтенсивність суцільного спектра залежить від атомного номера матеріалу анода, режимів роботи трубки? Чому ККД рентгенівської трубки становить 1-2%?
17. Умова виникнення характеристичного спектра та його основні особливості.
18. Від чого залежить спектральний склад характеристичного спектра?
19. Як виникає характеристичний спектр (теорія виникнення характеристичного спектра)?
20. Від чого залежить відносна інтенсивність ліній К-серії характеристичного спектра? Співвідношення довжин хвиль К-серії характеристичного спектра.
21. Закон Мозлі і його застосування.
22. Флуоресцентне (вторинне характеристичне) випромінювання: відмінності від характеристичного випромінювання (первинного); як виникає, застосування.
23. Основний закон ослаблення монохроматичних рентгенівських променів.
24. Лінійний і масовий коефіцієнти ослаблення рентгенівських променів, фізична сутність, що характеризують і від чого залежать, одиниці вимірювання.
25. Що таке шар половинного ослаблення?
26. Як масовий коефіцієнт поглинання (ослаблення) залежить від атомного номера речовини і від довжини хвилі випромінювання?
27. Як можна визначити товщину покриття рентгенівським методом?
28. Що таке край смуги поглинання або стрибок поглинання, як виникає?
29. Фільтрація рентгенівського випромінювання. Призначення фільтрів. Як підібрати фільтр?
30. Які явища виникають при взаємодії рентгенівських променів з речовиною?
31. Які процеси відповідають за поглинання, розсіювання рентгенівських променів?
32. Поглинання рентгенівського випромінювання: фотоефект, вторинне характеристичне випромінювання, Оже-ефект.
33. При яких явищах виникають фотоелектрон, оже-електрон, електрон видатності?
34. Що таке когерентне та некогерентне розсіювання рентгенівських променів? Коли виникає комптон ефект?

35. При яких енергіях рентгенівських квантів відбувається утворення електрон-позитронних пар?

Тематична контрольна робота 2:

1. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів: рівняння Лауе для атомного ряду, атомної площини та кристалічної решітці.
2. Як на практиці виконують умови виникнення інтерференційних максимумів?
3. Рівняння Вульфа-Бреггів та його застосування у рентгенографії матеріалів.
4. Основні методи рентгеноструктурного аналізу, їх характеристика та призначення.
5. За якими ознаками розрізняються методи рентгеноструктурного аналізу?
6. Функцією яких факторів є інтегральна інтенсивність ліній рентгенограми/дифрактограми?
7. Кутовий фактор інтенсивності інтерференційних ліній на рентгенограмі.
8. Атомний фактор розсіювання, від чого залежить, як змінюється, його вплив на інтенсивність.
9. Структурний фактор інтенсивності, його вплив на інтенсивність ліній на рентгенограмі, що враховує, як визначається?
10. Структурна амплітуда F , що враховує, як визначається?
11. Умови існування та погасання інтерференційних максимумів для простої, ОЦК- та ГЦК решітки виходячи з аналізу структурної амплітуди.
12. Температурний фактор інтенсивності інтерференційних ліній.
13. Фактор повторюваності інтерференційних ліній на рентгенограмі.
14. Залежність інтенсивності інтерференційних ліній від фактора поглинання.
15. Від чого залежить інтегральна інтенсивність дифракційних максимумів?
12. Чому на рентгенограмі чистого металу або однофазного твердого розчину різні інтерференційні лінії мають різну інтенсивність?
13. Від чого, крім факторів інтенсивності, залежить інтенсивність інтерференційних максимумів?
14. На чому ґрунтується якісний фазовий аналіз багатофазних матеріалів?
15. Як провести якісний фазовий аналіз?
16. Які додаткові відомості про досліджуваний об'єкт необхідно знати для однозначного вирішення завдання якісного фазового аналізу?
17. Яке мінімальне число ліній на дифрактограмі необхідно для аналізу фазового складу речовини?
18. Що таке чутливість якісного фазового аналізу і від яких чинників вона залежить? Що впливає на чутливість якісного фазового аналізу?
19. Чому можуть бути відсутні лінії на дифрактограмі (рентгенограмі)?
20. Основи методу рентгеноструктурного кількісного фазового аналізу. Методи кількісного фазового аналізу та їх характеристика.
21. Як визначити тип кристалічної решітки для кристалів кубічної сингонії?
22. Як індексується рентгенограма/дифрактограма кристалів кубічної сингонії?
23. Як розрізнити рентгенограми кристалів з примітивною кубічною і ОЦК решітками?
24. Як розрахувати період кристалічної решітки? Методи прецизійного (точного) визначення періоду решітки.
25. Який зв'язок існує між періодом решітки та міжплощинною віддаллю кристала?
26. Які задачі рентгеноструктурного аналізу вирішують шляхом прецизійного вимірювання періодів решітки? Як досягається прецизійність вимірювання періодів решітки?
27. Яка область кутів θ (значення кутів) є прецизійною та чому?
28. На чому засновано прецизійні методи визначення періодів решітки (міжплощинні віддалі)? Методи прецизійної зйомки та їх характеристика.

29. Методи графічної екстраполяції. Як обрати екстраполяційну функцію? На чому засновано методи?
30. Особливості рентгенівської картини діаграм стану з відсутньою, обмеженою та з необмеженою розчинністю компонентів.
31. Які методи застосовують для уточнення положення фазових границь на діаграмах стану?
32. Які типи твердих розчинів Ви знаєте? Як визначити тип твердого розчину?
33. Які задачі вирішують методами електроннографічного/електронно-мікроскопічного аналізу?
34. Призначення електроннографії та просвічувальної електронної мікроскопії.
35. Як розмір кристалітів впливає на картину електронної дифракції?
36. В чому полягають особливості взаємодії електронів з речовиною?

**ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ,
які виносяться на семестровий контроль**

1. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення дисперсності порошкових об'єктів.
2. За якими формулами розраховують мікронапруження у матеріалах?
3. Кристалічна решітка та елементарна комірка. Співвідношення параметрів елементарної комірки.
4. Визначення дисперсності порошків методом підрахунку числа плям на дебаївському кільці.
5. Якими функціями описують розподіл інтенсивності в інтерференційних максимумах при вивченні тонкої кристалічної структури (дисперсність, мікронапруження) в металах.
6. Елементи симетрії кристалічного простору (вузли, вузлові площини, вузлові вісі) та їх позначення.
7. Визначення дисперсності/ розміру зерен, кристалітів з використанням ефекту первинної екстинкції.
8. Що є мірою мікронапружень (напружень II роду) в металах?
9. Обчислення об'єму елементарної комірки.
10. Як визначаються міжплощинні віддалі за даними рентгеноструктурного аналізу?
11. Рівняння Вульфа-Бреггів та його застосування у рентгенографії металів.
12. Визначення товщини покриттів за ослабленням рентгенівських променів, дифрагованих матеріалом підкладки.
13. Методика визначення ширини інтерференційних максимумів.
14. Рентгенограма як джерело інформації і які її ознаки характеризують стан і будову речовини?
15. Від чого залежить кількість інтерференційних максимумів на рентгенограмі/дифрактограмі?
16. Які математичні функції використовують для опису профілю інтерференційних ліній при визначенні фізичного розширення?
17. Який розмір кристалітів можна визначити з лауєграми та епіграми?
18. Структурний фактор інтенсивності інтерференційних ліній на рентгенограмі/дифрактограмі.
19. Які параметри рентгенограми/дифрактограми використовують для визначення дисперсності порошків у межах $10^{-5} - 10^{-6}$ см та за якими формулами ведуться розрахунки?
20. Методика визначення центру ваги інтерференційного максимуму.
21. Атомний фактор інтенсивності інтерференційних ліній.
22. Правила вибору рентгенівського випромінювання при здійсненні структурного аналізу матеріалів, до складу яких входять хімічні елементи з різними порядковими номерами у таблиці Менделєєва.
23. Від чого залежить кількість та розмір плям на дебаївському кільці рентгенограми?
24. Кутовий фактор інтенсивності інтерференційних ліній на рентгенограмі.
25. Що таке області когерентного розсіювання рентгенівських променів (блоків) і як вивчають їх розмір?
26. Температурний фактор інтенсивності інтерференційних ліній.
27. Як залежить вигляд рентгенограми/дифрактограми від дисперсності блоків у матеріалах?
28. Фактор повторюваності інтерференційних ліній.
29. Кількісний фазовий рентгенівський аналіз порошкових композицій методом підмішування еталона.
30. Залежність інтенсивності інтерференційних ліній від фактора поглинання.
31. Що таке внутрішні напруження II роду (мікронапруження) і чим вони характеризуються?
32. Ефект первинної екстинкції і його вплив на інтенсивність інтерференційних ліній.
33. Що дає аналіз відношення фізичного розширення інтерференційних ліній β_2/β_1 ?

34. Чому рентгенограма/дифрактограма сталі марки Ст3 не відрізняється від рентгенограми заліза?
35. Експериментальне визначення кутів дифракційних максимумів.
36. Чому на рентгенограмі чистого металу або однофазного твердого розчину різні інтерференційні лінії мають різну інтенсивність?
37. Роздільне визначення дисперсності блоків та мікронапружень.
38. Розрахунок міжплощинних відстаней у кристалічній речовині.
39. При визначенні дисперсності блоків і мікронапружень методом апроксимації застосовують еталон. Для чого його застосовують і які вимоги до нього висувають?
40. Як можна визначити товщину покриття рентгенівським методом?
41. Визначення якісного фазового складу порошкових композицій.
42. Чому вводиться і як визначається поправка на K_{α} -дублет при визначенні ширини інтерференційної лінії.
43. Які фактори впливають на розширення інтерференційних ліній і як їх враховують?
44. Методи кількісного фазового аналізу.
45. У якому діапазоні визначаються розміри блоків за фізичним розширенням інтерференційних ліній?
46. Яка область кутів є прецизійною для визначення параметру решітки та чому?
47. Формула Шеррера-Селякова та її застосування у рентгеноструктурному аналізі.
48. Чутливість якісного фазового рентгенівського аналізу порошкових композицій.
49. Як виникають рентгенівські промені та яка їх природа?
50. Основні властивості рентгенівських променів.
51. Що необхідне для виникнення рентгенівських променів?
52. Як виникає суцільний спектр випромінювання рентгенівської трубки та його закономірності. Від чого залежить спектральний склад суцільного спектру?
53. Характеристичний спектр: умови виникнення та особливості.
54. Як виникає характеристичний спектр?
55. Від чого залежить спектральний склад (довжина хвилі) та відносна інтенсивність ліній характеристичного спектра?
56. Закон Мозлі та його використання?
57. Як визначити хімічний склад речовини за допомогою рентгенівських променів?
58. Які явища виникають при взаємодії рентгенівських променів з речовиною?
59. Основний закон ослаблення монохроматичних рентгенівських променів.
60. Лінійний і масовий коефіцієнти ослаблення рентгенівських променів, їх фізичний сенс, що характеризують та від чого залежать, одиниці вимірювання.
61. Що таке шар половинного ослаблення? Як визначається?
62. Як масовий коефіцієнти поглинання (ослаблення) залежить від атомного номера речовини, від довжини хвилі випромінювання?
63. Край смуги поглинання або стрибок поглинання, як виникає та використовується?
64. Фільтрація рентгенівського випромінювання, на якому явищі базується, для чого застосовується?
65. Поглинання рентгенівського випромінювання: фотоэффект, вторинне характеристичне випромінювання, Оже-ефект.
66. Розсіювання рентгенівських променів. Когерентне та некогерентне розсіювання.
67. Рівняння Лауе. Як на практиці виконують умови виникнення інтерференційних максимумів?
68. Умови існування та погасання інтерференційних максимумів для ОЦК-решітки виходячи з аналізу структурної амплітуди.
69. Умови існування та погасання інтерференційних максимумів для ГЦК-решітки виходячи з аналізу структурної амплітуди.
70. Структурний фактор інтенсивності, його вплив на інтенсивність ліній на рентгенограмі, що враховує, як визначається?
71. Атомний фактор розсіювання, від чого залежить, як змінюється, його вплив на інтенсивність.
72. Структурна амплітуда F , що враховує, як визначається?

73. Як розрахувати період решітки кристала? Методи прецизійного визначення періоду решітки.
74. Який зв'язок між періодом решітки та міжплощинною віддаллю кристала?
75. Як розділити α - і β -лінії на рентгенограмі? Чому вони виникають? Як позбутися β -ліній?
76. Для чого використовують фільтри та монохроматори? Як обирають випромінювання для проведення фазового аналізу, визначення параметра решітки?
77. Як визначити тип кристалічної решітки для кристалів з кубічною решіткою?
78. Як визначити тип твердого розчину?
79. Особливості рентгенівської картини діаграм стану з необмеженою, обмеженою та відсутньою розчинністю компонентів.
80. Фактори, що викликають зсув дифракційних ліній.
81. Фактори, що викликають розмиття дифракційних ліній.
82. Як залежить фізичне розширення інтерференційних ліній від кута дифракції при наявності мікронапружень?
83. Взаємозв'язок між шириною інтерференційних ліній та дисперсністю частинок фазових складових сплавів.
84. Який зв'язок між періодом решітки та міжплощинною віддаллю кристала?