	Силабус навчальної дисципліни **“Сучасні методи дослідження властивостей матеріалів”**
Напрям підготовки	**Доктор філософії**
Галузь знань	**13 Механічна інженерія**
Спеціальність	**132 Матеріалознавство**
Освітньо-наукова програма	**«Монокристалічні, керамічні та наноструктурні матеріали»**
Статус дисципліни	**Нормативна**
Семестр	**3**
Кількість кредитів ЄКТС	**5**
Форма підсумкового контролю	**Екзамен**
Викладач	**Долженкова Олена Федорівна**, доктор технічних наук, старший дослідник, ст. наук. співроб. Інституту монокристалів Національної академії наук України CV: https://isc.kharkov.ua/wp-content/uploads/2023/01/cv_dolzhenkova.pdf e-mail: dol@isc.kharkov.ua, complex.borate@gmail.com Scopus: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603014451 тел. роб.: 341-01-19
Анотація навчальної дисципліни	Ознайомлення аспірантів з основними принципами сучасних методів дослідження властивостей монокристалічних, керамічних та наноструктурних матеріалів передбачає: - розгляд особливостей застосування атомно-силового мікроскопа, растрового електронного мікроскопа і звичайного світлового металографічного мікроскопа для оцінки структури матеріалів; - ознайомлення аспірантів з фізичними основами методів і апаратурою для проведення рентгеноструктурного, електроно- і нейтронографіческого аналізів, просвічуючої електронної мікроскопії, рентгеноспектрального мікроаналізу, що дозволяють досліджувати хімічний склад і внутрішньої будови матеріалів; - ознайомлення аспірантів з фізичними основами експериментальних методів, які є базовими в дослідженнях поверхні твердого тіла: рентгенівська фотоелектронна спектроскопія, оже-електронна спектроскопія, спектроскопія розсіювання повільних іонів; - розгляд механізмів пластичної деформації і руйнування; статичні і динамічні методи механічних випробувань, неруйнівні методи контролю матеріалів.
Загальний обсяг	150 годин: лекції – 60 годин; практичні заняття – 20 годин; самостійна робота – 70 годин

Заплановані результати навчання	Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти повинні досягти таких результатів навчання: - розуміти суть фізичних явищ, які покладені в основу того чи іншого методу дослідження; - оволодіти принципами функціонування дослідницької апаратури; - навчитися оптимальному та найбільш інформативному вибору методів для вирішення поставлених задач; - навчитися робити висновки на підставі аналізу та співвіднесення всієї сукупності наявних результатів.

Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Методи дослідження мікроструктури, які використовуються в сучасному матеріалознавстві.

Тема 1. Методи світлової мікроскопії. Основні типи і конструктивні особливості металографічних мікроскопів. Методи світлової мікроскопії. Метод світлого поля в прохідному світлі. Метод світлого поля у відбитому світлі. Метод темного поля в прохідному світлі. Кількісні аналізатори структури.

Тема 2. Електронна мікроскопія. Трансмісійний електронний мікроскоп: конструкція і принцип роботи. Можливості методу тонкої фольги: мікродифракційний фазовий аналіз; структурні особливості фазових перетворень; вивчення дислокаційної структури; пряме вивчення процесів, що відбуваються в тонкій фользі.

Тема 3. Електронна мікроскопія. Растрова (скануюча) електронна мікроскопія. Принцип роботи і класифікація РЕМ. Область застосування скануючих електронних мікроскопів.

Тема 4. Скануючі зондові мікроскопи. Тунельний мікроскоп. Тунельний ефект. **Атомно-силовий мікроскоп.** Контактний, безконтактний, напівконтактний режими. **Бліжнепольна оптична мікроскопія**. Явище проходження світла через субхвильові діафрагми.

Розділ 2. Рентгеноструктурні методи дослідження.

Тема 5. Задачі рентгеноструктурного аналізу в дослідженнях і контролі якості кристалічних матеріалів. Принципи дифракційних методів аналізу і апаратура. Основні визначення і формули структурної кристалографії. Структура кристалів. Геометрія дифракційних картин і зворотна гратка кристалів. Інтенсивність розсіювання рентгенівського випромінювання кристалом. Техніка отримання і реєстрація дифракційних картин.

Тема 6. Аналіз фазового складу. Фазовий аналіз на основі аналізу дифракційної картини, що реєструється від досліджуваних порошкових зразків. Якісний аналіз. Кількісний аналіз. Метод підмішування. Метод незалежного еталона. Метод гомологічних пар. Метод накладення. Метод зйомки без еталона.

Тема 7. Аналіз структурного стану кристалічних матеріалів. Аналіз текстур. Аналіз напруг. Аналіз субструктури. Аналіз дефектів кристалічної будови за ефектом розширення ліній рентгенограм.

Тема 8. Рентгеноспектральний мікроаналіз. Основа методу рентгенівської спектроскопії. Будова рентгеноспектрального мікроаналізатора. Основні параметри методу. Елементи, що визначаються. Локальність РСМА. Чутливість методу (межа виявлення). Точність кількісного РСМА. Можливості методу. Про поправки при кількісному РСМА. Підготовка зразків і еталонів.

Розділ 3. Фізичні явища і властивості поверхні матеріалів.

Тема 9. Структура і властивості поверхонь. Фізика поверхні - нова галузь науки про будову речовини в конденсованому стані. Структура кристалічних поверхонь. Джерела і стоки точкових дефектів. Процеси адсорбції і сегрегації домішок, поверхнева самодифузія. Корозійна стійкість кристалічних поверхонь в залежності від кристалографічних особливостей.

Тема 10. Методи дифракції повільних та швидких електронів. Можливості і переваги методів, Взаємодія первинного випромінювання з речовиною і аналіз вторинного випромінювання.

Тема 11. Автоіонна та автоелектронна мікроскопія. Принципи методів та їх особливості.

Тема 12. Методи електронної спектроскопії. Оже-электронна спектроскопія (метод ОЕС). Метод рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (РФЕС). Аналітичні характеристики і порівняння методів: чутливість і точність аналізу, роздільна здатність по глибині і по поверхні.

Тема 13. Поверхневі властивості що змінюються при наявності адсорбційних шарів. Тертя і мастило. Вплив адсорбційних шарів і продуктів реакції на міцнісні властивості. Ефект Ребіндера. Вплив поверхнево-активних середовищ на процес руйнування кристалів. Механізми зміни міцнісних властивостей в результаті впливу рідкого середовища. Ефект Роско. Ефект Іоффе.

Розділ 4. Методи вивчення пластичності матеріалів.

Тема 14. Макротвердість. Устаткування. Методи визначення твердості по Брінеллю. Визначення твердості по Роквеллу. Методи вимірювання твердості по Віккерсу. Анізотропія твердості по Кнупу. Розрахунок значень твердості. Методика вимірювання твердості монокристалів при великих навантаженнях на індентор (~ 10 kg / s).

Тема 15. Мікротвердість. Обладнання. Метод вдавлювання індентора і метод склерометрії. Порівняння результатів, отриманих методами вдавлювання і дряпання, при дослідженні анізотропії твердості. Розрахунок значень мікротвердості. Особливості випробування тонких плівок. Природа «розмірного ефекту» і «зворотнього розмірного ефекту».

Тема 16. Метод кінетичної твердості і його можливості. Твердість по Мейєру. Аналіз діаграми навантаження індентора за методом Олівера і Фарра. Визначення невідновленої твердості і модуля пружності. Прилади для наноіндентування. Специфіка пружно-пластичного переходу в монокристалічних і керамічних матеріалах. Дослідження механізмів пластичної деформації при випробуванні на нанотвердість. Вивчення фазових перетворень під дією високого тиску під індентором. Співвідношення Холла-Петч в нано- та мікрокристалічних матеріалах. Надпластичність.

Розділ 5. Методи виявлення дислокацій в кристалах.

Тема 17. Основні типи дислокацій та їх рух. Невідповідність між міцністю, що спостерігається і теоретичною міцністю. Крайова дислокація. Ковзання крайової дислокації. Переповзання крайової дислокації. Гвинтова дислокація. Ковзання гвинтової дислокації. Змішані дислокації і їх рух. Вектор Бюргерса. Енергія дислокації. Виникнення дислокацій. Механізм розмноження дислокацій (джерело Франка-Ріда).

Тема 18. Методи виявлення дислокацій в кристалах. Виявлення дислокацій поляризаційно-оптичним методом. Метод хімічного травлення. Зв'язок спостережуваних ямок травлення з кристалографією досліджуваної грані. Спостереження ліній декорованих дислокацій в світловому мікроскопі. Виявлення дислокацій методом дифракції рентгенівського випромінювання. Просвічуюча електронна мікроскопія. Термічне

виявлення дислокацій. Зв'язок макроскопічних неоднорідностей з дислокаціями і точковими дефектами.

Тема 19. Механізм пластичної деформації. Ковзання як процес руху дислокацій. Зміцнення при гальмуванні дислокацій. Деформаційне зміцнення. Взаємодія дислокацій з атомами домішок. Високотемпературне індентування. Анізотропія пластичної деформації під дією зосередженого навантаження.

Розділ 6. Конструкційна міцність матеріалів.

Тема 20. Механізм руйнування. Природа напруженого стану матеріалу. Зародження мікротріщин і їх розвиток. Енергетичний критерій Гріффіта. Загальні відомості про опір руйнуванню і методах його оцінки. Методи інтегральної оцінки опору руйнуванню.

Тема 21. Методи випробування механічних властивостей. Випробування при статичному розтягуванні та стиску.. Випробування на згин. Триточковий згин. Чотирьохточковий згин. Динамічні випробування. Випробування на знос.

Тема 22. Вимірювання тріщиностійкості матеріалів. Поняття про тріщиностійкість кристалів. Геометрія руйнування при пружно-пластичному зосередженому навантаженні. Система радіально-медіанних і бокових тріщин. Визначення критичного коефіцієнта інтенсивності напружень в умовах плоского напруженого стану. Ефективна енергія руйнування. Випробування кераміки на тріщиностійкість EF-методом (edge-fracture method). Тріщиностійкість монокристалів, вирощених методами Чохральського, Кіропулоса, Степанова, Вернейля. Прогнозування міцності кристалічних матеріалів методом мікроіндентування. Тріщиностійкість кристалів на поверхні сколотих граней і на механічно обробленої поверхні.

Розділ 7. Дослідження якості кристалів поляризаційно-оптичним методом.

Тема 23. Кристалооптичні властивості. Ізотропні і анізотропні середовища. Подвійне променезаломлення. Інтерференція світла в кристалічних пластинках. Поляризоване світло. Поляризаційна мікроскопія. Орієнтування кристалів. Визначення внутрішніх напружень в кристалах поляризаційно-оптичним методом. Вивчення блокової структури, двійників, малокутових меж.

Тема 24. Дослідження кристалів в паралельному поляризованому світлі. Спостереження кристалів в схрещених поляризаторах. Інтерференційне забарвлення кристалів в схрещених і паралельних поляризаторах. Компенсація подвійного променезаломлення, кварцовий клин. Вимірювання подвійного променезаломлення кристалів.

Тема 25. Дослідження кристалів у коноскопічному поляризованому світлі. Коноскопічні фігури. Способи спостереження коноскопічних фігур. Коноскопічні фігури різноорієнтованих кристалів. Вимірювання кута оптичних осей. Визначення оптичного знаку кристала. Дисперсія оптичних осей. Вплив поглинання світла на коноскопічну фігуру.

Розділ 8. Методи оптичної спектроскопії.

Тема 26. Основні закономірності люмінесценції. Поняття про квантову природу світла (видимий діапазон довжин хвиль, ультрафіолетовий та інфрачервоний діапазони). Використання спектральних методів для вивчення складу і властивостей твердих тіл. Взаємодія атомів і молекул, об'єднаних в конденсовані речовини з електромагнітним випромінюванням. Розподіл оптичної спектроскопії по досліджуваним об'єктам: атомним і молекулярним. Поняття спектра. Модель конфігураційних кривих. Правило Стокса. Квантовий вихід люмінесценції. Рекомбінаційні процеси світіння. Спектри поглинання і

випромінювання екситона. Оптичні переходи з участю локальних рівнів. Перенесення енергії. Сенсибілізація. Концентраційне гасіння.

Тема 27. Взаємозв'язок характеристик електромагнітного випромінювання і методів оптичної спектроскопії. Класифікація видів люмінесценції за способом їх збудження. Фотолюмінесценція. Катодолюмінесценція. Електролюмінесценція. Тріболюмінесценція. Хемолюмінесценція. Біолюмінесценція.

Тема 28. Фосфоресценція. Термолюмінесценція. Про механізми світіння кристалофосфорів. Визначення пасток. Гасіння люмінесценції. Метод кривих термовисвечівання. Термічна і оптична активація пасток. Безвипромінювальне захоплення на домішкових пастках.

Тема 29. Фізика і принципи роботи лазерів. Посилення світла за допомогою індукованого випромінювання. Типи і конструкції лазерів

Тема 30. ІЧ-спектроскопія. Якісний аналіз: визначення функціональних груп сполук. Кількісний аналіз сумішей речовин. Дослідження межмолекулярної взаємодії.

Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин			
	усього	у тому числі		
		Лекції	Практика	сам. роб.
1	2	3	4	5
Розділ 1. Методи дослідження мікроструктури, які використовуються в сучасному матеріалознавстві.				
Тема 1. Методи світлової мікроскопії.		2	2	1
Тема 2. Електронна мікроскопія. Трансмісійний електронний мікроскоп		2		1
Тема 3. Електронна мікроскопія. Растрова (скануюча) електронна мікроскопія.		2	2	1
Тема 4. Скануючі зондові мікроскопи. Тунельний мікроскоп. Атомно-силовий мікроскоп**.** Бліжнепольна оптична мікроскопія.		2	2	2
Разом за розділом 1	19	8	6	5
Розділ 2. Рентгеноструктурні методи дослідження.				
Тема 5. Задачі рентгено-структурного аналізу в дослідженнях і контролі якості кристалічних матеріалів.		2	2	1
Тема 6. Аналіз фазового складу.		2		1
Тема 7. Аналіз структурного стану кристалічних матеріалів.		2		1
Тема 8. Рентгено-спектральний мікроаналіз.		2		2
Разом за розділом 2	15	8	2	5
Розділ 3. Фізичні явища і властивості поверхні матеріалів.				
Тема 9. Структура і властивості поверхонь.		2		1

Тема 10. Методи дослідження поверхонь**.** Метод дифракції повільних електронів. Метод дифракції швидких електронів.		2		1
Тема 11. Методи дослідження поверхонь. Автоіонная мікроскопія. Автоелектронна мікроскопія.		2		1
Тема 12. Методи дослідження поверхонь. Оже-електронна спектроскопія (метод ОЕС). Метод рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (РФЕС).		2		1
Тема 13. Поверхневі властивості що змінюються при наявності адсорбційних шарів.		2		1
Разом за розділом 3	15	10		5
Розділ 4. Методи вивчення пластичності кристалів.				
Тема 14. Макротвердість.		2		2
Тема 15. Мікротвердість.		2		2
Тема 16. Метод кінетичної твердості і його можливості.		4		1
Разом за розділом 4	13	8		5
Розділ 5. Методи виявлення дислокацій в кристалах.				
Тема 17. Основні типи дислокацій та їх рух.		2		2
Тема 18. Методи виявлення дислокацій в кристалах.		2	2	2
Тема 19. Механізм пластичної деформації.		2		1
Разом за розділом 5	13	6	2	5
Розділ 6. Конструкційна міцність матеріалів.				
Тема 20. Фізична природа міцності.		2		3
Тема 21. Методи випробування механічних властивостей.		2		2
Тема 22. Вимірювання тріщиностійкості матеріалів		2	4	4
Разом за розділом 6	15	6	4	5
Розділ 7. Дослідження якості кристалів поляризаційно-оптичним методом.				
Тема 23. Кристалооптичні властивості. Ізотропні і анізотропні середовища. Поляризоване світло.		2		1
Тема 24. Дослідження кристалів в паралельному поляризованому світлі.		2		2
Тема 25. Дослідження кристалів у коноскопічному поляризованому світлі.		2	2	2
Разом за розділом 7	13	6	2	5
Розділ 8. Методи оптичної спектроскопії.				
Тема 26. Основні закономірності люмінесценції.		2	2	1

Тема 27. Взаємозв'язок характеристик електромагнітного випромінювання і методів оптичної спектроскопії.				1
Тема 28. Фосфоресценція.		2		1
Тема 29. Фізика і принципи роботи лазерів.		2		1
Тема 30. ІЧ-спектроскопія.		2	2	1
Разом за розділом 8	17	8	4	5
Екзамен	30			30
Усього годин	**150**	**60**	**20**	**70**

Теми практичних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1	Виявлення дислокаційної структури монокристалічних зразків методом хімічного травлення	2
3	Вивчення механічних характеристик (мікротвердості і тріщиностійкості) монокристалічних та керамічних зразків методом зосередженого навантаження	4
4	Вивчення механічних характеристик монокристалічних та керамічних зразків методом кінетичної твердості	2
5	Кількісні вимірювання внутрішніх напружень в одновісних кристалах із застосуванням поляризаційного мікроскопа при коноскопічному ході світла	3
6	Освоєння техніки вимірювання спектрів поглинання монокристалічних та керамічних зразків на спектрофотометрі	2
7	Ідентифікація органічних сполук по інфрачервоним спектрами	2
8	Дослідження мікроструктури керамічних зразків за допомогою скануючого електронного мікроскопа	2
9	Орієнтація монокристалічних зразків за допомогою рентгено-структурного методу	3
	Разом	**20**

Методи контролю

Поточний контроль

Перевірка розуміння аспірантами теоретичного та практичного програмного матеріалу в цілому, здатність творчо використовувати накопичені знання та вміння.

Підсумковий контроль (екзамен).

Схема нарахування балів

Поточний контроль, практичні завдання, самостійна робота									Екза-мен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4	Розділ 5	Розділ 6	Розділ 7	Розділ 8	Разом		
8	8	4	8	8	8	8	8	60	40	100

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
90-100	Відмінно	Зараховано
70-89	Добре	
50-69	Задовільно	
1-49	Незадовільно	Не зараховано

Критерії оцінювання

Шляхом усного **опитування** викладач перевіряє розуміння аспірантами теоретичного програмного матеріалу в цілому (оцінюється до 4 балів).

Під час **практичного** заняття перевіряється здатність творчо використовувати накопичені знання та вміння (оцінюється до 4 балів).

Екзамен оцінюється за наступною системою балів:

40 балів	аспірант продемонстрував глибоке знання змісту питання; відповідь побудована лаконічно, чітко, логічно та послідовно; відповідь демонструє високий рівень засвоєння навчального матеріалу
30-39 балів	аспірант продемонстрував знання змісту питання; відповідь побудована лаконічно та послідовно, проте допущені певні неточності та похибки у логіці викладу матеріалу;
20-29 балів	аспірант продемонстрував певне знання змісту питання, відповідь є недостатньо послідовною, та логічною;
10-19 балів	аспірант продемонстрував уявлення з залікового питання, відповідь є фрагментарною, відповідь не послідовна, не логічна, не зовсім відповідає змісту питання
1-20 балів	відповідь часткова; відповідь не послідовна, не логічна, не зовсім відповідає змісту питання.
0 балів	відповідь відсутня, або не відповідає змісту питання

Питання до іспиту

1. Методи світлової мікроскопії.
2. Принципи дифракційних методів аналізу і апаратура.
3. Використання спектральних методів для вивчення складу і властивостей твердих тіл.
4. Трансмісійний електронний мікроскоп: конструкція і принцип роботи.
5. Фазовий аналіз на основі аналізу дифракційної картини.
6. Класифікація видів люмінесценції за способом їх збудження.
7. Скануюча зондова мікроскопія.
8. Аналіз структурного стану кристалічних матеріалів.
9. Механізми світіння кристалофосфорів.
10. Растрова (скануюча) електронна мікроскопія.
11. Методи виявлення дислокацій в кристалах.
12. Метод кінетичної твердості і його можливості.
13. Основи методу рентгенівської спектроскопії.
14. Високотемпературне індентування.
15. Фізика і принципи роботи лазерів.
16. Автоіонна та автоелектронна мікроскопія.

17. Визначення внутрішніх напружень в кристалах поляризаційно-оптичним методом.
18. Методи визначення твердості.
19. Дослідження кристалів в паралельному поляризованому світлі.
20. Випробування при статичному розтягуванні.
21. Методи дослідження поверхонь матеріалів.
22. Методи вивчення пластичності матеріалів.
23. Вимірювання тріщиностійкості кристалічних матеріалів.
24. Характеристики і порівняння методів дослідження поверхонь матеріалів.
25. Принципи дифракційних методів аналізу і апаратура.
26. Використання спектральних методів для вивчення складу і властивостей твердих тіл.
27. Характеристики механічних властивостей кристалів.
28. Рентгеноспектральний мікроаналіз. Можливості, основні параметри та чутливість методу.
29. Вимірювання подвійного променезаломлення кристалів.
30. Призначення динамічних випробувань матеріалів.

Рекомендована література

Основна література

1. О.В. Афанасьєва. Матеріалознавство та конструкційні матеріали. Навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2016, 188 с.
2. М.У. Білий, Б.А. Охріменко. Атомна фізика. – К. : Знання, 2009, 559 с.
3. R.F. Egerton. Physical principles of electron microscopy. An Introduction to TEM, SEM, and AEM. Springer, 2016, 196 p.
4. G. Binnig, C.F. Quate, Ch. Gerber. Atomic Force Microscope / Physical Review Letters. 1986. V.56, No 9. p. 930–933.
5. V. Bert, Scanning Tunneling Spectroscopy (STS) / Scanning Probe Microscopy: Atomic Force Microscopy and Scanning Tunneling Microscopy, NanoScience and Technology, Springer, Berlin, 2015, p. 309–334.
6. Chunli Bai, Scanning tunneling microscopy and its application, Springer, Berlin, 2000, 370 p.
7. С.І. Сидоренко, Р.І. Барабаш. Сучасний рентгеноструктурний аналіз реальних кристалів. – К.: Наукова думка, 1997, 367 с.
8. P. Luger. Rentgenografia strukturalna monokryształów. Wydawnictwo Naukowe PWN 1989, 323 s.
9. A.H. Compton, S.K. Allison, X-ray in Theory and Experiment, Second ed., Publisher: D. van Nostrand Company, Inc., New York, 1967.
10. A. Zangwill. Physics at Surfaces. Cambridge University Press, 1988, 464 p.
11. E. Dobrovinskaya, L. Lytvynov, V. Pischik. Sapphire in Science and Engineering. Kharkiv: STC "Institute for Single Crystals" National Academy of Science of Ukraine, 2007, 480 p.
12. J.C.H. Spence, High-Resolution Electron Microscopy (4th edn), Oxford University Press, 2013, 432 p.
13. Dong ZhiLi, Fundamentals of Crystallography, Powder X-ray Diffraction, and Transmission Electron Microscopy for Materials Scientists, CRC Press, 2022, 272 p.
14. D.B. Sirdeshmukh, L. Sirdeshmukh, K.G. Subhadra Micro- and Macro-Properties of Solids. Thermal, Mechanical and Dielectric Properties. Springer, 2006, 405 p.

15. Yang Leng; Materials Characterization: Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods (Second Edition); Publisher John Wiley & Sons, 2013, 392 p.
16. W.C. Oliver, G.M. Pharr. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. of Materials Research. 1992. V7, P. 1564-1583.
17. A.G. Evans, E.A. Charles. Fracture toughness determinations by indentations // J. Amer. Ceram. Soc. 1976, V.59, P. 371-373.
18. G.A. Gogotsi. Fracture toughness testing of materials by the EF method // Inorg. Mater. 2006. V42, P.567-572.
19. S. Keshra. Etching of Crystals: Theory, Experiment, and Application. North-Holland, 1987, 497 p.
20. A.M. Fox, Optical Properties of Solids, Oxford University Press, 2001, 305 p.
21. J Malzbender, Comment on hardness definitions, Journal of the European Ceramic Society. V.23, No.9, (2003) P.1355-1259.
22. Лазерні технології: навч. посіб. Ч. 1-2 / Я.В. Бобицький, Г.Л. Матвіїшин. Видавництво Львівської політехніки, 2015-2020.
23. B.H. Stuart. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications, Wiley, 2004, 248 p.

Допоміжна література

1. G.M. Sheldrick, SHELX97. Program Package for Solving and Refinement of Crystal Structures (Pre-Release Version), Univ. of Göttingen, Germany, 1997.
2. Annual Book of ASTM Standarts, 1974, E-436-74, Part 10, p. 425-457.
3. V.N. Rozhanskii, M.P. Nazarova, I.L. Svetlov, L.K. Kalashnikova. Dislocation and Crowdion Plasticity of Corundum at Room Temperature // Phys. Stat. Sol., 1970, V.41, P.579-590.
4. S.G. Lipson, H. Lipson, D.S. Tannhauser, Optical Physics, Cambridge University Press, 3rd Ed., 1995, 436 p.
5. Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry, Ed. L. John, 2nd Ed, Elsevier, Academic Press, 2010, 312 p.

Інформаційні ресурси

https://svitppt.com.ua/fizika/optichna-spektroskopiya-molekul-ta-kristaliv.html