

# НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

В.о. директора ІПМ НАН України

Чл.-кор. НАН України

 Г.А.Баглюк

**СХВАЛЕНО:**

Вченою радою ІПМ НАН України

Протокол № 6 від 24 жовтня 2023 р.

**Силабус із навчальної дисципліни  
«Методи дослідження матеріалів»,  
складається в межах ОПН підготовки доктора філософії  
третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти  
для здобувачів для здобувачів за спеціальністю**

**13 – «Механічна інженерія » - 132 «Матеріалознавство»**

## 1. Загальна характеристика курсу

|                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Назва дисципліни</b>                                          | Методи дослідження матеріалів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Адреса викладання дисципліни</b>                              | вул. Омеляна Прицака (Кржижанівського), 3, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ, 03142, Україна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>                 | 13 – «Механічна інженерія» - 132 «Матеріалознавство»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Викладачі дисципліни</b>                                      | д.х.н., с.н.с., зав. від. А. А. Бондар<br>д.ф.-м.н., проф., пров. н.с. М. В. Карпець<br>к.ф.-м.н., с.н.с., пров. н.с. Т. Г. Рогуль                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Контактна інформація викладачів</b>                           | 063 063 5151; <a href="mailto:aa_bondar@ukr.net">aa_bondar@ukr.net</a> – А.А.Бондар<br>068 081 1722; <a href="mailto:mkarpets@ukr.net">mkarpets@ukr.net</a> – М. В. Карпець<br>067 220 8543; <a href="mailto:rogul.tamara@gmail.com">rogul.tamara@gmail.com</a> – Т. Г. Рогуль                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b> | В дні лекцій за попередньою домовленістю                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Інформація про дисципліну</b>                                 | Курс розроблено таким чином, щоб надати слухачам знання, необхідні для проведення наукових досліджень в рамках виконання дисертаційної роботи. Курс охоплює основи термічного аналізу, методу рентгенівського фазового аналізу, Мессбауерівської спектроскопії та електронної мікроскопії матеріалів, необхідних для становлення науковця, який працює в галузі створення новітніх високотехнологічних матеріалів.                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Коротка анотація дисципліни</b>                               | Дисципліна “Методи дослідження матеріалів” є дисципліною за нормативною частиною підготовки аспірантів зі спеціальності 13 «Механічна інженерія», 132 – «Матеріалознавство» для освітньої програми підготовки доктора філософії, яка викладається в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України в 2-му семестрі в обсязі 2-х кредитів (за Європейською кредитно-трансферною системою ECTS).                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Мета та цілі дисципліни</b>                                   | Метою навчальної дисципліни “Методи дослідження матеріалів” є формування фундаментальних знань у початкуючих науковців для розробки матеріалів із заданим та керованим комплексом властивостей. Цілі дисципліни – освоєння методів комп’ютерної обробки дифрактограм і вихідних даних термічного аналізу, Мессбауерівської спектроскопії, спектроскопії вторинних іонів та електронної мікроскопії; формування умінь інтерпретувати отриманні структурні та інші дані і використовувати ці результати для встановлення процесів формування певних структурних станів, виявлення зв’язку структури матеріалів із їх властивостями. |
| <b>Вимоги навчальної дисципліни</b>                              | Курс є дисципліною нормативної частини циклу професійної підготовки аспірантів.<br>Обсяг курсу – 2 кредити ECTS, 36 год аудиторних занять (з них 30 год лекційних занять, 6 годин практичних занять) та 24 год самостійної роботи (очна форма навчання). Вивчення наукової дисципліни вимагає обов’язкове відвідування аудиторних занять, активну участь в обговоренні питань, якісне і своєчасне виконання завдань самостійної роботи, а також участь у всіх видах контролю.                                                                                                                                                     |
| <b>Підсумкова форма контролю знань</b>                           | Іспит                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Очікувані результати навчання</b>                                                      | <p><i>Після завершення цього курсу студент буде:</i></p> <p><b>- знати:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– підходи до створення новітніх матеріалів, володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі хімії та бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей</li> <li>– основи процесів, що відбуваються у твердому тілі при його взаємодії з електронним пучком; типи, будову та принципи роботи електронних мікроскопів; основи теорій формування контрасту; основні методи досліджень, що використовуються в електронній мікроскопії;</li> </ul> <p><b>- вміти:</b></p> <p>інтегрувати існуючі методики та методи отримання сучасних матеріалів та адаптувати їх для розв'язання наукових завдань при проведенні дисертаційних досліджень.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Ключові слова</b>                                                                      | <i>ДТА, фазове перетворення, калориметр, РФА, дифрактограма, мікроструктура, фаза, сплав, електронна мікроскопія, електронограма</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Пререквізити</b>                                                                       | <p>Для вивчення курсу аспіранти потребують базових знань з основних розділів фізики (молекулярна фізика, динаміка, кінематика); закони механіки (робота, потужність, одиниці їх вимірювання (зв'язок одиниць вимірювання різних систем); розділи математики (алгебра, елементи аналізу, геометрія, диференційне та інтегральне числення); розділи загальної і неорганічної хімії (екзотермічні і ендотермічні процеси, теплові ефекти, швидкості хімічних реакцій, хімічна рівновага); здатність демонструвати розуміння питань використання технічної літератури; вміння застосовувати отримані дані про структуру матеріалів і фазові перетворення при їх синтезі для створення металевих та керамічних композиційних матеріалів через виявленні взаємозв'язки між фазовими перетвореннями та структурою і структурою та властивостями; розуміти особливості організації та планування наукової діяльності.</p> <p>Аспіранту необхідні базові знання з курсу загальної фізики, квантової механіки, кристалографії, фізики конденсованого стану. Зокрема, знати фізичну сутність явищ в досліджуваних матеріалах і елементах; кристалічну структуру твердого тіла; дефекти в кристалах; поняття оберненої ґратки і основи теорії дифракції.</p> |
| <b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b> | Презентація, лекції, дискусія                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Необхідне обладнання</b>                                                               | Мультимедійне обладнання, обладнання для диференційного термічного аналізу, ізоперіболічний калориметр, рентгівівський дифрактометр Ultima IV фірми Rigaku, трансмісійний (просвічуючий) електронний мікроскоп JEM-100C, скануючий електронний мікроскоп "Superprob-733".                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## 2. План викладання дисципліни

| Тема, план                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Кількість годин |              |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|-------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | усього          | у тому числі |                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                 | аудиторні    | Самостійна робота |
| Змістовний модуль 1. «Термічний аналіз» А. А. Бондар                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                 |              |                   |
| <b>Тема 1 «Вимірювання температури».</b><br><i>Термодинамічна температурна шкала. Міжнародна практична температурна шкала (МІПТШ). Датчики температури.</i>                                                                                                                                                                                                                                         | 3               | 2            | 1                 |
| <b>Тема 2. «Види термічного аналізу».</b><br><i>Визначення. Пірометрія – типи пірометрів. Внесення поправок на випромінювальну здатність зразків. Дилатометрія. Вимірювання електроопору та магнітних властивостей.</i>                                                                                                                                                                             | 3               | 2            | 1                 |
| <b>Тема 3. «Диференційний термічний аналіз».</b><br><i>Принципова схема. Загальний вигляд вимірювальної комірки і апаратури. Вибір сенсорів і тиглів. Дериватографія. Інтерпретація результатів. Сучасні прилади і області використання.</i>                                                                                                                                                        | 3               | 2            | 1                 |
| <b>Тема 4. «Калориметрія».</b><br><i>Типи калориметрів. Визначення термодинамічних характеристик матеріалів. Сучасні прилади і області використання.</i>                                                                                                                                                                                                                                            | 3               | 2            | 1                 |
| <b>Тема 5. «Використання даних про термічні властивості матеріалів Використання даних про термічні властивості матеріалів».</b><br><i>Зв'язок термічних ефектів на кривих ДТА та інших термічних залежностях із діаграмами стану. Політермічні перерізи потрібних систем. Використання даних термічного аналізу для вибору температур відпалу, спікання та інших видів термообробки матеріалів.</i> | 4               | 2            | 2                 |
| <b>Практичне заняття 1.</b><br><i>Побудова кривих ДТА і визначення температур фазових перетворень. Використання ефектів ДТА для побудови політермічних перерізів.</i>                                                                                                                                                                                                                               | 4               | 2            | 2                 |
| <b>Всього за модулем</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20              | 12           | 8                 |
| Змістовний модуль 2. «Рентгенівський фазовий аналіз і Мессбауерівська спектроскопія» М. В Карпець                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                 |              |                   |
| <b>Тема 6. «Основи рентгенодифракційних методів».</b><br><i>Рентгенографія – методи дослідження кристалічної структури. Основні положення. Елементи структурної кристалографії.</i>                                                                                                                                                                                                                 | 3               | 2            | 1                 |
| <b>Тема 7. «Обробка дифрактограм».</b><br><i>Сучасні програмні комплекси по обробці дифракційних даних (PowderCell, PDXL, Match!3). Бази даних (PDF-2, ICSD, COD).</i>                                                                                                                                                                                                                              | 4               | 2            | 2                 |
| <b>Тема 8. «Обробка дифрактограм – продовження».</b><br><i>Повнопрофільний аналіз дифракційних спектрів та метод Рітвельда.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                     | 4               | 2            | 2                 |
| <b>Тема 9. «Мессбауерівська спектроскопія».</b><br><i>ЯГР-спектроскопія: елементи теорії ядерних спектрів, суть ефекту Мессбауера. Конверсійні ЯГР-спектри.</i>                                                                                                                                                                                                                                     | 2               | 2            | –                 |
| <b>Тема 10. «ВІМС – мас-спектроскопія вторинних іонів».</b><br><i>Іонізація в індуктивно зв'язаній плазмі. Основні типи мас-аналізаторів: Магнітні (секторні), квадрупольні, часопрототні, трьохмірна іонна ловушка.</i>                                                                                                                                                                            | 2               | 2            | –                 |
| <b>Практичне заняття 2.</b><br><i>Комп'ютерна обробка дифрактограм.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 5               | 2            | 3                 |
| <b>Всього за модулем</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20              | 12           | 8                 |
| Змістовний модуль 3. «Електронна мікроскопія» Т. Г. Рогуль                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                 |              |                   |
| <b>Тема 11. «Теоретичні основи електронної мікроскопії»</b><br><i>Предмет електронної мікроскопії. Історична справка. Фізичні основи взаємодії електронів з речовиною. Локальні методи дослідження. Роздільна здатність. Типи електронних мікроскопів.</i>                                                                                                                                          | 3               | 2            | 1                 |
| <b>Тема 12. «Просвічуюча електронна мікроскопія (ПЕМ)».</b><br><i>Принципова схема будови просвічуючого електронного мікроскопу та принцип роботи (світле, темне поле; перехід від зображення до дифракції). Дифракція від вибраної ділянки. Постійна приладу.</i>                                                                                                                                  | 3               | 2            | 1                 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|
| <b>Тема 13. «Підготовка зразків для дослідження методом ПЕМ».</b><br><i>Виготовлення тонких фольг, електро- та хімічне полірування, іонне бомбардування, метод реплік; артефакти, що виникають внаслідок препарування об'єктів. Техніка безпеки.</i>                                                                                                         | 3  | 2  | 1  |
| <b>Тема 14. «Дослідження дислокаційних структур, двофазних матеріалів та інших дефектних структур методом ПЕМ».</b><br><i>Основи кінематичної та динамічної теорії контрасту. Абсорбційний, дифракційний, амплітудний, фазовий (інтерференційний) контраст. Аналіз зображень. Точкові та кільцеві електронограми. Розшифровка стандартних електронограм.</i> | 3  | 2  | 1  |
| <b>Тема 15. «Растрова (скануюча) електронна мікроскопія (РЕМ). Оже електронна спектроскопія (ОЕС). Зондова мікроскопія (растровий тунельний мікроскоп (РТМ), атомний силовий мікроскоп (АСМ))».</b><br><i>Принципи дії та принципові схеми будови мікроскопів, їх застосування. Підготовка зразків. Фрактографія.</i>                                        | 4  | 2  | 2  |
| <b>Практичне заняття 3.</b><br><i>Інтерпретація електронномікроскопічних зображень та розшифровка стандартних електронограм.</i>                                                                                                                                                                                                                             | 4  | 2  | 2  |
| <b>Всього за модулем</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 20 | 12 | 8  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |    |    |
| <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 60 | 36 | 24 |

### 3. Контроль знань

В основі методів контролю знань використовуються поточне індивідуальне опитування та іспит.

#### Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Оцінка ECTS    | Сума балів за навчальну діяльність | Оцінка за національною шкалою                         |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| A              | 90–100                             | Відмінно                                              |
| B              | 82–89                              | Добре                                                 |
| C              | 74–81                              |                                                       |
| D              | 64–73                              | Задовільно                                            |
| E              | 60–63                              | Достатньо                                             |
| F <sub>x</sub> | 35–59                              | Незадовільно з можливістю повторного складання        |
| F              | 1–34                               | Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням курсу |

### 4. Список базової літератури

1. S. Vyazovkin, N. Koga, C. Schick. Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry: Recent Advances, Techniques and Applications. 2nd ed. Elsevier Science & Technology, San Diego, 2018, 842 p.
2. Boettinger W.J., Kattner U.R., Moon K.-W., Perepezko J.H. DTA and Heat-flux DSC Measurements of alloy Melting and Freezing, NIST recommended practice guide, Special publication 960–15, NIST, 2006. – 90 p.
3. Klimm, Detlef. Thermal Analysis and Thermodynamics: In Materials Science, Berlin, Boston: De Gruyter, 2022. <https://doi.org/10.1515/9783110743784>
4. Brown M.E. Introduction to Thermal Analysis. Techniques and Applications: 2nd ed. — Kluwer, 2001. — 310 p. ISBN: 978-1-4020-0472-8

5. Загородній В.В., Карпець М.В. Рентгенівські методи досліджень. – К.: НТУУ «КПІ», – 2014. – 318 с. [Електронний ресурс] <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/8139>
6. Програмний комплекс Match!3. - <http://crystalimpact.com/match/download.htm>
7. Thomas G., Goringe M.J. Transmission Electron Microscopy of Materials, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 1979, 388 p.
8. Williams D., Carter C.B. Transmission Electron Microscopy, Vol. 1 – Basics. Plenum Press., 1996, 837 p.
9. Egerton R. Physical principles of electron microscopy, Springer, 2005, 202 p.
10. Hirsch Peter B. Electron Microscopy of Thin Crystals (6th printing Edition), 1993, 563 p.
11. Куницький Ю.А., Купина Я.І. Електронна мікроскопія, Київ, Либідь, 1998, 389 с.
12. Goldstein J., Newbury D. et al. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. Kluwer Academic, New York; 2003, 688 p.
13. Andrews K.W., Dyson D.J., Keown S. R. Interpretation of Electron Diffraction Patterns, Springer, 2013, 188 p.
14. Woodruff D.P., Delchar T.A. Modern Techniques of Surface Science, Cambridge University Press; 2nd edition, 1994, 608 p.

#### Додаткова література:

1. Котур Б.Я., Шпирка З.М., Ничипорук Г.П., Зелінська О.Я. Фізикохімічний аналіз багатокомпонентних систем: лабораторний практикум. - Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2013. – 104 с.
2. Methods for phase diagram determination / edited by J.-C. Zhao.; Amsterdam; New York : Elsevier, 2007; 505 p.
3. Барчій І.С., Переш Є.Ю., Різак В.М., Худолій В.О. Гетерогенні рівноваги. – Ужгород: Закарпаття, 2003.– 212 с.
4. Чумак В.Л., Іванов С.В. Фізична хімія. – Київ : Книжкове вид-во НАУ, 2007. – 648 с.
5. Ковальчук Є.П. Фізична хімія: Підручник. / Є.П. Ковальчук, О.В. Решетняк. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 800 с
6. David G. Gilmore. Satellite Thermal Control Handbook, AIAA, ISBN: 1-884989-11-X, 2002, 836 p.
7. Amelinckx S. Diffraction and Imaging Techniques in Material Science, Published: January 1, 1978, 472 p.
8. Freundlich Martin M. "Origin of the Electron Microscope: The history of a great invention, and of a misconception concerning the inventors, is reviewed". *Science.*, 142, 1963, P. 185–188. doi:10.1126/science.142.3589.185.
9. Fultz B., Howe J.M. Transmission electron microscopy and diffractometry of materials, Heidelberg: Springer-Verlag, 2001, 748 p.
10. Pennycook S., Nellist P. Scanning Transmission Electron Microscopy, New York: Springer, 2011, 762 p.
11. Грабченко А.І., Федорович В.О., Гаращенко Я.М. Методи наукових досліджень: Навч. посібник. – Х.: НТУ "ХПІ", 2009. – 142 с.
12. Проценко І.Ю., Чорноус А.М., Проценко С.І. Прилади і методи дослідження плівкових матеріалів – Суми: СумДУ, 2020. – 270 с.
13. Данильченко С.М., Кузнецов В.М., Проценко І.Ю. Рентгенодифракційні методи дослідження кристалічних матеріалів: навчальний посібник. - Суми: СумДУ, 2019. -135 с.
14. Лобода В.Б., Іваній В.С., Шкурдода Ю.О. та ін. Сучасні методи дослідження структури речовини. Спеціальний фізичний практикум: навч. посібник. Суми: Університетська книга, 2012. – 259 с.