



# Наноструктурні та нанокристалічні матеріали

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (доктор філософії)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Матеріалознавство</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, 3 семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 (120 год), 13 год. практичних занять, 26 год. лекцій, 81 год. СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР</i>
Розклад занять	<a href="https://Rozklad.kpi.ua">https://Rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції: Волошко С.М., професор, д.ф.-м.н. Практичні: Волошко С.М., професор, д.ф.-м.н. 0630759552 - Telegram та Viber voloshko@kpm.kpi.ua voloshkosvetlana13@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<a href="https://classroom.google.com/c/NzEyNjUzNjg4NDI5?cjc=n2wxj4q">https://classroom.google.com/c/NzEyNjUzNjg4NDI5?cjc=n2wxj4q</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Наноструктурні та нанокристалічні матеріали» належить до переліку вибірових дисциплін циклу професійної підготовки освітньої програми третього рівня вищої освіти – доктора філософії та складається з одного кредитного модулю.

**Предмет навчальної дисципліни:** отримання знань теоретичного і експериментального характеру щодо процесів формування та еволюції структури і властивостей об'ємів матеріалів в нано- і субнанорозмірних діапазонах. Як саме із використанням новітніх аналітично-дослідницьких можливостей мають конструюватися нові моделі структуро- і фазоутворення – нові в порівнянні з тими, які неможливо було розвинути в минулому в традиційних технологіях масивних полікристалічних матеріалів.

**Особливість подання цієї проблематики студентам спеціалізації:** можна навчитися тому, як багатокомпонентність, багатошаровість і нанорозмірність, наноструктурованість і нанофазність, екстремальні впливи в процесах отримання і обробки (енергетична активація через термічні і лазерні впливи, бомбардування зарядженими і нейтральними частинками, зовнішні поля) можуть використовуватися для спрямованого формування структури і властивостей в технологіях створення наноматеріалів майбутнього.

#### Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є формування у аспірантів компетентностей у відповідності до ОНП, а саме:

<b>Код компетентності</b>	<b>Зміст компетентності</b>
ФК 03	Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у матеріалознавстві, дотичних та міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з матеріалознавства.
ФК 05	Здатність аналізувати стан проблеми в галузі матеріалознавства, ідентифікувати шляхи вирішення та синтезувати нове знання на основі власного досвіду розв'язання проблеми.
ФК 07	Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, модернізації, конструювання та створення нових матеріалів, компонентів та процесів.
ФК 08	Здатність проектувати та створювати нові функціональні матеріали й розробляти економічно ефективні технології використання їх в промисловості.

#### **Основні завдання навчальної дисципліни.**

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми, аспіранти після засвоєння кредитного модулю мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

<b>Загальні компетентності (ЗК)</b>	
ЗК.01	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
ЗК.02	Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових та складних ідей;
<b>Фахові компетентності спеціальності (ФК)</b>	
ФК.03	Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у матеріалознавстві, дотичних та міждисциплінарних напрямках та застосовувати одержані навички для підвищення ефективності сучасного виробництва.
ФК.04	Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, математичне й комп'ютерне моделювання матеріалознавчих задач.
ФК.07	Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, модернізації, конструювання та створення нових матеріалів, компонентів та процесів.

#### **Основні завдання навчальної дисципліни.**

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми аспіранти після засвоєння кредитного модулю мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

РН04	Визначати закономірності керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення, фізико-хімічними процесами в матеріалах (у тому числі наноматеріалах) для створення матеріалів із заданими структурами та властивостями.
РН06	Використовувати у науковій і практичній діяльності основні тенденції, напрями та перспективи створення нових матеріалів різної природи, основи сучасних методів виробництва конструкційних та функціональних матеріалів, біокомпозитів, матеріалів з відновлювальних джерел.
РН08	Планувати і виконувати експериментальні дослідження у сфері матеріалознавства та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних методів та обладнання, аналізувати результати експериментів у контексті комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.
РН09	Знати та застосовувати термодинамічні принципи матеріалознавства та закономірності кінетики процесів в матеріалах.

PH10	Знати та використовувати фундаментальні принципи фізичного, математичного, фізико-хімічного та імітаційного моделювання, методи теоретичного та експериментального дослідження структури та властивостей матеріалів, закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення.
------	---

#### **Алгоритми дій в стандартних професійних ситуаціях**

- Проведення експериментальних досліджень для визначення фізичних, механічних та інших характеристик наноструктурних і нанокристалічних матеріалів;
- Комп'ютерне імітаційне моделювання фізичних процесів та швидка оцінка критичних параметрів для широкого кола наноматеріалів;
- Прогнозування кінетики та механізмів процесів фазових та структурних перетворень у наноструктурних і нанокристалічних матеріалах з метою розробки наукових основ інноваційних технологій.

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

Дисципліна «Наноструктурні та нанокристалічні матеріали» є вибірковою для підготовки докторів філософії. Для її вивчення необхідні базові знання про будову матеріалів та базові вміння володіння комп'ютером.

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

#### **Розділ 1. Типи наноматеріалів, атомна будова та властивості**

Вступ. Предмет і завдання дисципліни.

Тема 1.1. Розмірний ефект. Наноструктурні та нанокристалічні матеріали.

Тема 1.2. Молекулярно-кінетичні властивості наноматеріалів.

Тема 1.3. Приклади металевих наноматеріалів: «розумні», плівкові, максени.

#### **Розділ 2. Карбонові наноматеріали.**

Тема 2.1. Нанотрубки, фулерени.

Тема 2.2. Графен.

#### **Розділ 3 Екстремальні впливи в процесах отримання і обробки наноматеріалів**

Тема 3.1. Лазерне опромінення.

Тема 3.2. Інтенсивна пластична деформація.

Тема 3.3. Опромінення йонно-плазмовими потоками.

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

**Базова література (Усі видання наявні в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського та в електронному вигляді за посиланням**

<https://classroom.google.com/c/NzEyNjUzNjg4NDI5?cjc=n2wxj4q>)

- 1. Навчальний посібник.** Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої / Боровий М.О., Куницький Ю.А., Каленик О.О., Овсієнко І.В., Цареградська Т.Л. – Київ: «Інтерсервіс», 2015. – 350 с.
- 2. Основи нанотехнологій: навчально-методичний посібник** для вчителів та студентів педагогічних університетів / О.М. Завражна, О.О. Пасько, А.І. Салтикова. – Суми: Вид-во СумДПУ імені А.С.Макаренка, 2016. – 184 с.
- 3. Афтанділянц, Є.Г. Наноматеріалознавство: підручник** / Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько. – Херсон: Олді-Плюс, 2020. – 549 с.
- 4. Навчальний посібник.** Зерногранична дифузія в нанокристалічних матеріалах з ієрархічною структурою / укладачі: С.І. Сидоренко, С.М. Волошко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – К.: ІВЦ „Політехніка”, 2014. – 95 с.

5. **Навчальний посібник.** Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2014. – 152 с.

**Додаткова література (Усі видання наявні в електронному вигляді за посиланням**

<https://classroom.google.com/c/NzEyNjUzNjg4NDI5?cic=n2wxj4g>

6. **Конспект лекцій** «Фундаментальні основи нанотехнологій» для студентів спеціальності 132 – «Матеріалознавство» за освітньою програмою (спеціалізацією) «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» денної форми навчання / Укл.: І.П. Волчок, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 209 с.

7. Основи нанофізики і нанотехнологій [Електронний ресурс] : [підручник] / В.В. Погосов, Г.В. Корніч, Є.В. Васютін, К.В. Пугіна, В.І. Киприч. – Електронні текстові дані (1 файл: 36,76 Мбайт). – Запоріжжя. : ЗНТУ, 2008. - 630 с. – Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/314>

8. Богорош О.Т. Нові речовини. Частина 3. Нано- та біоматеріали і матеріали з унікальними властивостями [Електронний ресурс]: **навчальний посібник** до курсу лекцій / О.Т. Богорош, С.О. Воронов, В.Й. Котовський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 405 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/21521>

9. В.В. Покропивний, В.В. Скороход. Фундаментальні проблеми матеріалознавства / “Вісник” УМТ № 1 (1) 2008. – С. 55-70.

10. Сидоренко С.І., Васильєв М.О., Волошко С.М. Дифузія в металевих плівках з мікро- та нанорозмірною структурою. – Київ: Наукова думка, 2011. – 557 с.

11. М.О. Васильєв, С.М. Волошко, Л.В. Яценко Модифікація поверхні титанового сплаву ВТ6: ультразвук, лазер. – LAMBERT, 2019. – 244 с.

12. Аномальне масоперенесення [текст]: **навчальний посібник** для підготовки докторів філософії за освітньо-науковою програмою «Матеріалознавство / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.І. Сидоренко, О.В. Філатов, С.М. Волошко, І.О. Круглов. – Київ : Вид-во «САК ЛТД», 2020. – 82 с.

13. Alexander M Gabovich, Valerii F Semeniuk, and Nadiia I Semeniuk. Effect of trampoline sputtering on surface morphology and coatings properties. J. Phys. D: Appl. Phys. 54 (2021) 255301 <https://doi.org/10.1088/1361-6463/abf0ee>

14. Alexander M Gabovich, Valerii F Semeniuk, and Nadiia I Semeniuk. New collective trampoline mechanism of accelerated ion-plasma sputtering. J. Phys. D: Appl. Phys. 52 (2019) 185201 <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab05a1>

**Навчальний контент**

**5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<b>Лекція 1. Вступ. Предмет і завдання дисципліни.</b> Предмет, завдання дисципліни. Стислий огляд основних питань, що будуть розглядатися. Потреби створення матеріалів з новими властивостями за вимог мініатюризації в VI-VII технологічних укладах. Просторова будова наноматеріалів. Особливості формування структури і властивостей матеріалів: від процесів на мезорівні до процесів на наномасштабних, субнано- і пікомасштабних рівнях. Загальна характеристика наноматеріалів, основні визначення, класифікації. Нанокристалічні та наноструктурні матеріали. Основні вимоги до наноматеріалів, їхніх властивостей та характеристик. Основна література: [1], [2], [3]. Додаткова література: [7]. <b>Завдання на СРС:</b> Історія розвитку нанотехнологій та перспективи.
2	<b>Лекція 2. Розмірний ефект. Наноструктурні та нанокристалічні матеріали.</b> Вплив фактору нанорозмірності на фізичні явища та властивості, виникнення нових ефектів у наноструктурах. Процеси формування та еволюції структури і властивостей об'ємів матеріалів в нано- і субнанорозмірних діапазонах. Класи наноматеріалів за класифікацією

	<p>Глейтера. Багатокомпонентність, багатошаровість і нанорозмірність, наноструктурованість і нанофазність. Сфери застосування наноструктурних та нанокристалічних матеріалів. Новітні аналітично-дослідницькі можливості для конструювання нових моделей структуро- і фазоутворення. Відмінності від традиційних технологій дослідження масивних полікристалічних матеріалів.</p> <p>Основна література: [1], [2], [3]. Додаткова література: [9], [10].</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Ієрархічна класифікація наноструктур (<math>L &lt; 100\text{--}500</math> нм) за розмірністю.</p>
4	<p><b>Лекція 4. Молекулярно-кінетичні властивості наноматеріалів.</b> Особливості дифузії в нанокристалічних матеріалах. Модель будови нанокристалічних матеріалів. Ієрархічна мікроструктура нанокристалічного сплаву. Класичні кінетичні режими ЗГ – дифузії за класифікацією Харісона. Кінетичні режими дифузії у нанокристалічних структурах. Закономірності само- та гетеродифузії в нанокристалічних матеріалах, виготовлених спіканням мелених оксидних порошків. Роль потрійних стиків границь зерен у наноматеріалах. Кінетичні режими, ієрархія шляхів дифузії. Кристалографічна та дифузійна ширина границь зерен. Температурна залежність ширини границь зерен.</p> <p>Основна література: [4]. Додаткова література: [5], [12].</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Атомно-зондова томографія.</p>
5	<p><b>Лекція 5. Максени.</b> Історія відкриття, будова, анізотропія властивостей. Дизайн міжфазної структури наноматеріалів на основі MXene для зберігання та перетворення електрохімічної енергії. Хімічно впорядковані MXenes. Методи синтезу. Приклади застосування. Антибактеріальна активність. OLED-дисплеї. Альтернативна енергетика. Електроніка. Медицина. Літій-іонні акумулятори.</p> <p>Основна література: інтернет-джерела.</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Методи та пристрої для візуалізації та характеристики нанооб'єктів. Методи визначення розмірів нанооб'єктів.</p>
6	<p><b>Лекція 6. Розумні матеріали.</b> Поняття, типологія та види розумних матеріалів. Напрямки розвитку розумних матеріалів. Ефект пам'яті форми. Зовнішні впливи: тиск, температура, вологість, рН середовища, електричне або магнітне поля, тощо. Плівкові нанорозмірні матеріали з ефектом пам'яті форми на гнучких підкладках. Використання нанотехнологій у текстильній промисловості ("розумний текстиль"). Способи з'єднання текстилю з електронікою. Приклади проєктів за європейською програмою Горизонт.</p> <p>Основна література: [1], [2], [3]. Додаткова література: [6].</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Ієрархічна класифікація наноструктур (<math>L &lt; 100\text{--}500</math> нм) за розмірністю.</p>
7	<p><b>Лекція 7. Нанорозмірні плівкові матеріали.</b> Багатошарові та квазібагатошарові системи, мультишари. Граничні стани в нанорозмірних металевих плівках. Вплив фактору нанорозмірності на фізичні явища та властивості, виникнення нових ефектів в наноплівках (ефект гігантського магнітоопору та ін.). Матеріали для наноелектроніки. Закон Мура та основні функції наноелектроніки. Удосконалення традиційної кремнієвої електроніки. Вуглецева наноелектроніка. Наноматеріали для інформаційних технологій. Спінтроніка.</p> <p>Основна література: [1]. Додаткова література: [10].</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Проблеми подальшої мінітюаризації у наноелектроніці.</p>
8	<p><b>Лекція 8. Карбонові наноматеріали: нанотрубки, фулерени.</b> Історія відкриття. Методи одержання карбонових нанотрубок. Електричні властивості нанотрубок. Механічні властивості нанотрубок. Напрямки застосування. Використання пружних властивостей нанотрубок. Фізичні властивості фулеренів. Кристалічна ґратка. Інтеркальований фулерит. Фулерити. Гідратований фулерен <math>C_{60}(H_2O)_N</math>. Боросферен. Методи синтезу. Можливі шляхи використання фулеренів.</p> <p>Основна література: [1], [5].</p>

	<p>Додаткова література: [7], [8].</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Класифікація алотропних модифікацій вуглецю. Кристалічні алотропи вуглецю. Наноалотропи вуглецю. Електронна структура атома вуглецю та його електронні зв'язки.</p>
9	<p><b>Лекція 9. Карбонові наноматеріали: графен.</b> Історія відкриття графену. Переваги та недоліки графену. Фізичні властивості. Квантовий ефект Хола. Оптичні властивості. Отримання графену із терморозширеного графіту та відновленням оксиду графіту. Solar-thermal CVD. Графенові мембрани для очищення та опріснення води. Застосування графену у сонячній енергетиці. Біосенсори з графеновими електродами. Нейродевайси: зчитування активності нейронів. Діагностика онкозахворювань. Графен як дифузійний бар'єр. Антикорозійні покриття з графеном.</p> <p>Основна література: [1], [2].</p> <p>Додаткова література: [6], [8].</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Отримання графена методом клейкої стрічки, «розрізуванням» нанотрубок.</p>
10	<p><b>Лекція 10. Екстремальні впливи в процесах отримання і обробки наноматеріалів: лазерне опромінення.</b> Формування періодичних наноструктур під дією лазерного випромінювання у нанорозмірних плівкових матеріалах. Моделювання та визначення градієнтних характеристик термічної обробки лазерним опроміненням. Вплив лазерного нагріву на концентраційні зміни в тонких металевих плівках. Формування впорядкованих наноструктур рельєфу поверхні. Формування екзотичних наноструктурних об'єктів з віссю симетрії 5-го порядку.</p> <p>Основна література: [3].</p> <p>Додаткова література: [11], [12].</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Використання методів лазерної обробки для реалізації різних технологічних процесів, розрахунки температурних полів під час лазерного нагріву.</p>
11	<p><b>Лекція 11. Екстремальні впливи в процесах отримання і обробки наноматеріалів: інтенсивна пластична деформація.</b> Ультразвукова ударна обробка у різних середовищах. Піскоструминна та дробоструминна обробка. Механічна обробка поверхні SMAT. Електроіскрове легування. Комбіновані методики. Моделі та механізми поверхневої наноструктуризації металів та сплавів. Вплив середовища обробки. Комп'ютерне моделювання.</p> <p>Основна література: [1].</p> <p>Додаткова література: [11], [12].</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Особливості формування наноструктур внаслідок інтенсивної пластичної деформації у рідкому азоті.</p>
12	<p><b>Лекція 12. Екстремальні впливи в процесах отримання і обробки наноматеріалів: опромінення йонно-плазмовими потоками.</b> Новий «батутний» механізм розпилення твердих тіл. Коефіцієнт батутного розпилення. Нанорозмірне вибухове закипання поверхні. Можливість існування п'ятого агрегатного стану речовини – квазірідини. Нанорозмірне текстурування поверхні підкладки в батутному режимі. Ієрархічні структури. Чорний кремній. Практичні переваги батутної обробки. Синтез покриттів.</p> <p>Додаткова література: [13], [14].</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Основні напрямки вирішення проблеми недостатньої адгезії покриттів.</p>
13	<b>Залік</b>

**Основні завдання циклу практичних занять** полягають у формуванні у студентів практичних навичок і умінь вирішувати задачі наноматеріалознавства за допомогою комп'ютерної техніки.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<p><b>Просторова будова наноматеріалів.</b>  <b>Мета роботи:</b> Ознайомлення з основними характеристиками наносистем: поперечний розмір частинок різної геометричної форми; дисперсність; питома поверхня; число сферичних частинок в 1 м<sup>3</sup> наносистеми; сумарна площа поверхні сферичних частинок в 1 м<sup>3</sup>; питома площа поверхні наночастинок. Поняття кластерів металів із щільною упаковкою атомів і заповненими оболонками, «магічні кластери». Розв'язування задач.  <b>Завдання на СРС.</b> Самостійне розв'язування задач.                      Основна література: [5], с. 7-18.</p>
2.	<p><b>Фізико-хімічні закономірності утворення нанокластерів.</b>  <b>Мета роботи:</b> Ознайомлення з фізико-хімічними закономірностями утворення нанокластерів. Гомогенне утворення нової фази, зміна енергії Гіббса в процесі нуклеації, робота утворення зародка критичного розміру в розплаві. Гетерогенне утворення нової фази: зміна поверхневої складової енергії Гіббса під час гетерогенного утворення зародку з урахуванням рівняння Юнга. Швидкість утворення нової фази в рамках термодинамічного підходу. Розв'язування задач.  <b>Завдання на СРС:</b> Самостійне розв'язування задач.                      Основна література: [5] – с. 19-26.</p>
3	<p><b>Карбонові наноматеріали.</b>  <b>Мета роботи</b> – Ознайомлення із поняттям хіральності, способами згортання графенів («крісло», «зигзаг»). Хіральні та ахіральні карбонові нанотрубки. Нанотрубки як граничний випадок молекул фулеренів. Будова багат шарових карбонових нанотрубок типу «рулонів» або «пап'є-маше». Фулерити. Розв'язування задач.  <b>Завдання на СРС:</b> Самостійне розв'язування задач.                      Основна література: [5] – с. 27-43.</p>
4	<p><b>Фізико-хімічні властивості наночастинок та наноматеріалів</b>  <b>Мета роботи</b> – Ознайомлення із залежністю термодинамічних властивостей від розміру частинок, урахування впливу додаткового поверхневого тиску. Вплив дисперсності на приріст енергії Гіббса та величину хімічного потенціалу. Рівняння Кельвіна. Вплив дисперсності на розчинність твердого тіла, температуру фазових перетворень, теплоємність та параметри кристалічної ґратки. Розв'язування задач.  <b>Завдання на СРС:</b> Самостійне розв'язування задач.                      Основна література: [5] – с. 44-62.</p>
5	<p><b>Молекулярно-кінетичні властивості нанодисперсних систем.</b>  <b>Мета роботи</b> – Ознайомлення з молекулярно-кінетичними властивостями дисперсних систем: дифузія, броунівський рух, осмос, седиментаційна рівновага. Рівняння Фіка, Вант-Гофа, Стокса. Розв'язування задач.  <b>Завдання на СРС:</b> Самостійне розв'язування задач.                      Основна література: [5] – с. 72-82.</p>
6	<p><b>Електрокінетичні явища нанодисперсних систем.</b>  <b>Мета роботи</b> – Ознайомлення з електрокінетичними явищами: відносного переміщення фаз дисперсної системи в електричному полі (електрофорез, електроосмос) і виникнення електричного поля при русі частинок дисперсної фази або дисперсійного середовища під дією зовнішньої сили (потенціал течії, потенціал осадження). Розв'язування задач.  <b>Завдання на СРС:</b> Самостійне розв'язування задач.                      Основна література: [5] – с. 83-104.</p>
	<b>МКР (0,5 год).</b>

## 6. Самостійна робота

Вид самостійної роботи студента	Кількість робіт	Норма часу на роботу, год.	Термін часу, год.
Засвоєння додаткових питань до лекцій	23	2	46
Підготовка до практичних робіт та опрацювання результатів	6	4	24
Підготовка до МКР	1	5	5
Підготовка до заліку	1	6	6
		<b>Всього</b>	<b>81</b>

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

1. Пропущене лекційне заняття необхідно продивитись за допомогою запису ZOOM, законспектувати основні положення, використовуючи матеріали розміщені викладачем в Google Classroom (за посиланням <https://classroom.google.com/c/NzEyNjUzNjg4NDI5?cjc=n2wxj4q>).
2. Практичні заняття проводяться в комп'ютерному класі. У разі пропуску практичних занять необхідно попередити викладача і дізнатись про шляхи відпрацювання. Допускається використання власних ноутбуків. У разі дистанційного навчання, аспірант повинен забезпечити себе персональним комп'ютером з доступом до інтернету.
3. У разі спізнення на пару, аспіранту необхідно, не заважаючи іншим, зайти в клас, зайняти своє місце. Користуватись мобільним телефоном можна тільки з дозволу викладача. Звук мобільного телефона повинен бути вимкнений. У разі важливих вхідних дзвінків необхідно спитати дозволу викладача, вийти в коридор і провести розмову там.
4. Під час проведення контрольних заходів забороняється користуватися мобільними телефонами, і допомогою інших. У випадку пропуску контрольних заходів, необхідно за домовленістю з викладачем пройти їх в інший час.
5. У разі змішаного/дистанційного навчання, аспірант повинен забезпечити себе персональним комп'ютером з доступом до інтернету і встановленим програмним забезпеченням ZOOM, та будь-яким браузером.
6. Під час навчання аспіранту необхідно дотримуватись Правил внутрішнього розпорядку (<https://kpi.ua/admin-rule>) та політики академічної доброчесності, які визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (<https://kpi.ua/code>).

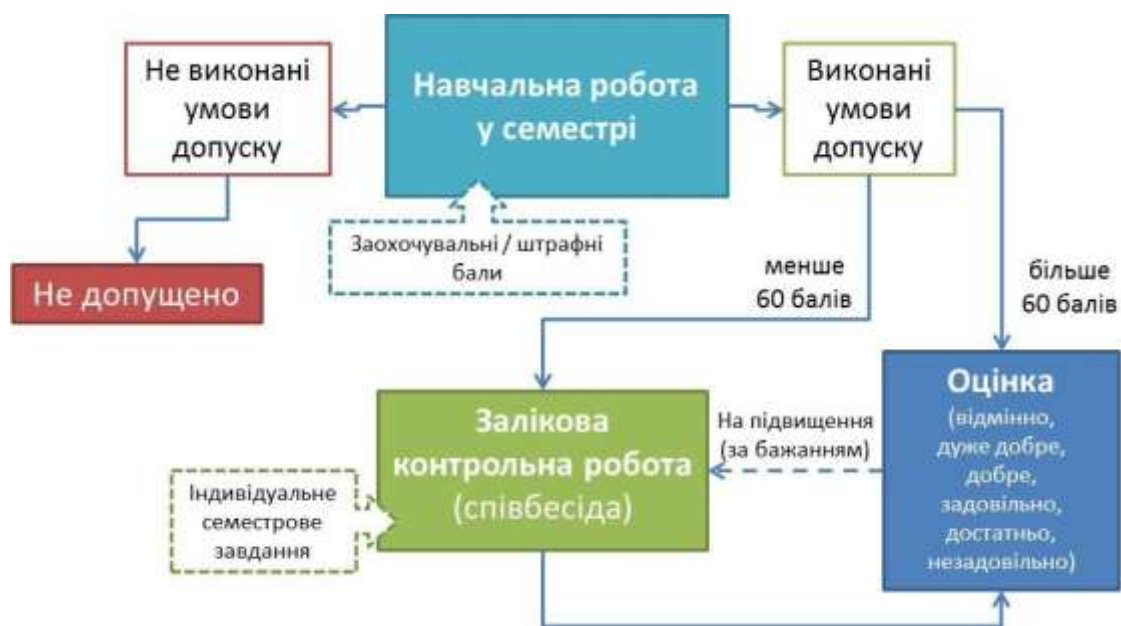
### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

#### Контрольні заходи:

1. Поточний контроль: виконання практичних завдань, МКР.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
3. Семестровий контроль: залік.



Оцінювання результатів навчання відбувається за схемою:



Таблиця видів контролю та максимальної кількості балів за них.

Вид контролю	Кількість	Максимальна кількість балів на 1	Максимальна кількість балів
Виконання практичних завдань	6	12	72
МКР	1	28	28
<b>Всього</b>			<b>100</b>

**Оцінювання виконання практичних завдань:**

Критерії	Бали
до виконаного завдання немає зауважень, дані правильні відповіді під час перевірки	10-12
є неprincipові зауваження до виконаного завдання та/або дані відповіді з помилками під час перевірки	7-8
є принципів зауваження до виконаного завдання та/або не дані відповіді (дані неправильні) під час перевірки	робота не здана

МКР відбувається у вигляді письмової контрольної роботи з 2-х теоретичних питань. За кожну правильну відповідь аспірант отримує 14 балів. Сумарна оцінка – 28 балів.

Умовою допуску до заліку є виконання всіх практичних робіт, здана МКР. Семестровий рейтинг можна підвищити за рахунок заохочувальних балів (максимум на 10) шляхом виконання додаткових індивідуальних завдань (видає викладач).

Аспіранти, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

З аспірантами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи або співбесіди.

Після виконання залікової контрольної роботи, якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, аспірант отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи. Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, застосовується «жорстка» РСО – попередній рейтинг здобувача скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи.

Залікова контрольна робота проводиться у вигляді тестування. Слухачу надається 20 тестових завдань. За кожну правильну відповідь студент отримує 5 балів. Якщо сумарна кількість правильних

відповідей менше 50, то залік вважається не зданим (незадовільно). Для перескладання заліку є дві додаткові спроби.

Отримані слухачем рейтингові бали переводять в університетські оцінки за шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

У освітньому компоненті «Наноструктурні та нанокристалічні матеріали» денної форми навчання передбачено модульну контрольну роботу. Виконання самостійних завдань (СРС) розподілено рівномірно протягом семестру.

Перелік завдань до СРС видається аспірантам на початку семестру, чітко повідомляються вимоги до самостійної роботи, строки її виконання, правила оформлення, критерії рейтингового оцінювання. Всі питання, винесені для самостійного опанування, аспіранти мають оформлювати у вигляді стислого конспекту. Дата здачі СРС повідомляється на початку семестру.

Всі індивідуальні роботи (СРС, контрольна) вносяться до рейтингової системи оцінювання знань. Бали за рейтинговою системою проставляються у Кампусі в розділі «Поточний контроль», результати атестації в розділі «Атестація». Екзаменаційна відомість створюється і заповнюється в Кампусі, доступ до неї існує упродовж дня заліку (виправлення і перездача наступного дня не допускаються).

Спілкування з викладачем відбувається через Telegram та Viber, електронною поштою.

Для покращення сприйняття матеріалу під час аудиторних занять лекційний матеріал подається у вигляді презентацій.

Засоби змішаного навчання. Упродовж вивчення даної дисципліни аспіранти повинні самостійно пройти комп'ютерне тестування для перевірки своїх знань в процесі підготовки до модульної контрольної роботи. При вивченні даної дисципліни використовуються навчальні посібники, підручники, монографії, наукові публікації, які розміщені в classroom.google за посиланням <https://classroom.google.com/c/NzEyNjUzNjg4NDI5?cjc=n2wxj4g>.

Результати навчання за даним освітнім компонентом, здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перезарахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі лабораторні чи практичні заняття). Можливість перезарахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній / інформальній освіті" (<https://osvita.kpi.ua/node/179>).

Перелік запитань до контрольних робіт та семестрового контролю наведено в Додатку.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено:** д.ф.-м.н., проф. Волошко С.М.

**Ухвалено:**

кафедрою Фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 12 від 21 червня 2024 р.);

кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 17 від 22 червня 2024 р.).

**Погоджено:**

Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 12 від 28 червня 2024 р.).

**Загальний перелік питань до модульної контрольної та залікової робіт  
з дисципліни «Наноструктурні та нанокристалічні матеріали»**

1. Яким чином пов'язані потреби створення наноматеріалів з вимогами мініатюризації в VI-VII технологічних укладах?
2. Охарактеризуйте особливості структури і властивостей матеріалів на мезорівні та наномасштабному рівні.
3. Які основні вимоги до наноматеріалів, їхніх властивостей та характеристик?
4. Які існують класи наноматеріалів за класифікацією Глейтера?
5. Особливості наноструктурних та нанокристалічних матеріалів, в чому полягає різниця між ними?
6. Що таке аперіодичні наноструктури?
7. В чому полягає вплив фактору нанорозмірності на фізичні явища та властивості?
8. Які нові ефекти можуть проявлятися у наноструктурах?
9. Які особливості процесів еволюції структури і властивостей об'ємів матеріалів в нано- і субнанорозмірних діапазонах?
10. Які існують нанокластерні матеріали? Поняття кластерів металів із щільною упаковкою атомів і заповненими оболонками, «магічні кластери».
11. Які фізико-хімічні закономірності утворення нанокластерів?
12. Охарактеризуйте вплив дисперсності на розчинність твердого тіла, температуру фазових перетворень, теплоємність та параметри кристалічної ґратки.
13. Які молекулярно-кінетичні властивості дисперсних систем?
14. Надайте визначення таких понять, як дифузія, броунівський рух, осмос, седиментаційна рівновага.
15. Охарактеризуйте електрокінетичні явища переміщення фаз дисперсної системи в електричному полі (електрофорез, електроосмос).
16. Чи можливе виникнення електричного поля при русі частинок дисперсної фази або дисперсійного середовища під дією зовнішньої сили (потенціал течії, потенціал осадження)?
17. Які існують визначення та класифікації нанокристалічних матеріалів за різними ознаками?
18. Опишіть комбіновану класифікацію нанокристалічних матеріалів за формою та хімічним (фазовим) складом кристалітів.
19. Окресліть сфери застосування наноструктурних та нанокристалічних матеріалів.
20. Які існують новітні аналітично-дослідницькі можливості для конструювання нових моделей структуро- і фазоутворення? В чому полягає їхня відмінність від традиційних технологій дослідження масивних полікристалічних матеріалів?
21. Для чого створюють матеріали із різними масштабними рівнями структур?
22. Які ви знаєте методи одержання нанокристалічних матеріалів?
23. Що представляє собою ієрархічна структура нанокристалічного матеріалу?
24. Наведіть особливості дифузії в нанокристалічних матеріалах.
25. Порівняйте класичні кінетичні режими ЗГ – дифузії за класифікацією Харісона з кінетичними режимами дифузії у нанокристалічних структурах.
27. Які закономірності само- та гетеродифузії в нанокристалічних матеріалах, виготовлених спіканням мелених оксидних порошків?
28. В чому полягає роль потрійних стиків границь зерен у наноматеріалах?
29. В чому принципова різниця між кристалографічною та дифузійною шириною границь зерен? Чи існує температурна залежність ширини границь зерен?
30. Охарактеризуйте особливості дизайну міжфазної структури наноматеріалів на основі МХе<sub>n</sub> для зберігання та перетворення електрохімічної енергії.
31. Охарактеризуйте хімічно впорядковані МХе<sub>n</sub>es та методи їхнього синтезу.
32. Наведіть приклади застосування максенів.
33. Що таке «розумні» наноматеріали? В чому полягає ефект пам'яті форми?
34. Як впливає тиск, температура, вологість, рН середовища, електричне або магнітне поля?

35. Як використовуються нанотехнології у текстильній промисловості ("розумний текстиль")? Які способи з'єднання текстилю з електронікою?
36. Для чого використовують нанорозмірні металеві плівкові матеріали? В яких галузях промисловості?
37. Що представляють собою багат шарові та квазібагат шарові плівкові системи, мультишари?
38. Які граничні стани в нанорозмірних металевих плівках? Як проявляється вплив фактору нанорозмірності на фізичні явища та властивості, виникнення нових ефектів в наноплівках (ефект гігантського магнітоопору та ін.)?
39. Назвіть основні матеріали для наноелектроніки. В чому полягає закон Мура та які основні функції наноелектроніки?
40. Які шляхи удосконалення традиційної кремнієвої електроніки? Перспективи карбонової наноелектроніки.
41. Охарактеризуйте карбонові наноструктурні матеріали. Яка існує класифікація алотропних модифікацій карбону. Назвіть кристалічні алотропи карбону, наноалотропи карбону.
42. Охарактеризуйте будову та властивості фулерену, нанотрубок, графену.
43. Які існують методи одержання карбонових нанотрубок?
44. В чому полягає поняття хіральності? Назвіть способи згортання графенів («крісло», «зигзаг») для отримання нанотрубок.
45. Чим відрізняються хіральні та ахіральні карбонові нанотрубки?
45. Чи можна вважати нанотрубки граничним випадком молекул фулеренів?
46. Яка будова багат шарових карбонових нанотрубок типу «рулонів» або «пап'є-маше».
47. Охарактеризуйте електричні, механічні та пружні властивості нанотрубок.
48. Які фізичні властивості фулеренів? Яку кристалічну ґратку має фулерен?
49. Що таке інтеркальований фулерит та гідратований фулерен?
50. Назвіть можливі сфери використання фулеренів.
51. Надайте характеристику методам отримання графену із терморозширеного графіту, відновленням оксиду графіту та Solar-thermal CVD.
52. Як отримати графен методом клейкої стрічки, «розрізуванням» нанотрубок?
53. Назвіть приклади використання графену. Яке застосування графену у сонячній енергетиці?
54. Чи може графен виконувати функції дифузійного бар'єру та антикорозійного покриття?
55. Наведіть приклади екстремальних впливів в процесах отримання і обробки наноматеріалів.
56. Як відбувається формування періодичних наноструктур під дією лазерного випромінювання?
57. Чи відбувається модифікація властивостей поверхні металевих сплавів під час лазерного впливу?
58. Наведіть приклади формування екзотичних наноструктурних об'єктів з віссю симетрії 5-порядку під дією лазерного опромінення.
59. Чи можуть формуватися впорядковані коміркові наноструктури під час лазерного впливу?
60. Надайте характеристику наноструктурам, сформованим інтенсивною пластичною деформацією.
61. В чому полягають особливості впливу ультразвукової ударної обробки на структуру та фазові перетворення? Чи можлива при цьому наноструктуризація поверхні матеріалу?
62. Для яких цілей використовується піскострумінна обробка? В яких галузях промисловості?
63. Надайте характеристику методу електроіскрового легування.
64. Чи доцільним є використання комбінованих методів високоенергетичної обробки? В яких випадках?
65. Моделі та механізми поверхневої наноструктуризації металів та сплавів під дією інтенсивної пластичної деформації.
66. Як впливає середовище обробки? Які особливості формування наноструктур внаслідок інтенсивної пластичної деформації у рідкому азоті?
67. Охарактеризуйте «батутний» механізм розпилення твердих тіл. Що таке коефіцієнт батутного розпилення?
68. В чому полягає нанорозмірне вибухове закипання поверхні? Чи існує п'ятий агрегатний стан речовини – квазірідина?

69. Що таке нанорозмірне текстурування поверхні в батутному режимі? З якою метою воно використовується?
70. Що таке чорний кремній? Які галузі його використання?
71. Які практичні переваги застосування батутної обробки для синтезу покриттів? Чи дозволяє така обробка покращити адгезію покриттів?