



Національна академія наук України  
Інститут проблем матеріалознавства  
ім. І.М. Францевича



**Силабус (робоча програма) навчальної дисципліни**

**ОСНОВИ НАНОМАТЕРІАЛІВ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЙ**

**FUNDAMENTALS OF NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES**

**Реквізити навчальної дисципліни**

<b>Рівень вищої освіти</b>	<b>третій (освітньо-науковий)</b>
<b>Галузь знань</b>	13 Механічна інженерія
<b>Спеціальність</b>	132 Матеріалознавство
<b>Освітня програма</b>	Матеріалознавство
<b>Статус дисципліни</b>	дисципліна базова
<b>Форма навчання</b>	денна (очна), он-лайн/офф-лайн
<b>Рік підготовки, семестр</b>	1 курс навчання, весняний семестр
<b>Обсяг дисципліни</b>	3 кредити ECTS, 90 годин
<b>Семестровий контроль/ контрольні заходи</b>	екзамен
<b>Розклад занять</b>	лекція – раз на тиждень (32 години); практика/семінар/консультації – 1 раз на два тижні (16 годин); самостійна робота 41 год., у тому числі на виконання індивідуальних/домашніх завдань 20 год, екзамен – 1 год
<b>Мова викладання</b>	Українська, English
<b>Інформація про викладачів</b>	Лектор: доктор технічних наук, професор, академік НАН України Рагуля Андрій Володимирович, тел. 0677594987, <a href="mailto:Andrey.ragulya@gmail.com">Andrey.ragulya@gmail.com</a> Лабораторні: доктор технічних наук, професор, академік НАН України Рагуля Андрій Володимирович, тел. 0677594987, <a href="mailto:Andrey.ragulya@gmail.com">Andrey.ragulya@gmail.com</a>
<b>Розміщення курсу</b>	Google Classroom; доступ за запрошенням викладача

**Програма навчальної дисципліни**

**1. Опис освітньої компоненти, її мета, предмет вивчення та результати навчання**

В курсі викладаються основи матеріалознавства наноструктур, наноматеріалів і нанотехнологій. Актуальність викладання дисципліни, яка пов'язана з цією передовою

кромкою матеріалознавства полягає в тому, що сегмент наноматеріалів і нанотехнологій їх виробництва та використання є таким, що найбільш швидко розвивається і досяг більше ніж 4 трлн доларів США у 2023 р. Тому, саме фахівці в галузі наноматеріалів і нанотехнологій є одними з найбільш затребуваними в світі високих технологій. Науковці, що працюють в цієї галузі потребують багатодисциплінарної підготовки і формування в них широкого світогляду. Тому в запропонованому курсі розглядаються різні основи фізико-хімії і механіки, фізики і матеріалознавства наночастинок, нанострижнів, квантових точок, тонких плівок, консолідованих об'ємних тіл і методи їх отримання, аналізуються особливості структури фізико-хімічних, фізико-механічних, оптичних, електромагнітних та біологічних властивостей наноматеріалів, характеризуються основні напрямки сучасного і майбутнього застосування наноматеріалів. Дисципліна є обов'язковою для аспірантів зі спеціальністю 132 Матеріалознавство для освітньої програми підготовки доктора філософії, яка викладається в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича.

**Мета курсу** – закласти у аспірантів систематичні багатодисциплінарні основи знань в області матеріалознавства наноструктур: фізико-хімії і технології одержання наноматеріалів, особливостей їх структури і зв'язку з властивостями та потенційними або існуючими застосуваннями. З лабораторних занять студенти отримують практичні навички роботи з наноматеріалами на сучасному обладнанні.

У підсумку спеціаліст повинен знати особливості структури та властивостей наноструктурних, нанофазних, нанодисперсних матеріалів, технології отримання наноструктурних матеріалів, та області застосування; вміти характеризувати наноструктурні об'єкти, цілеспрямовано використовувати нанодисперсний стан речовини для керування технологічним процесом виготовлення виробів, управління структурою та властивостями матеріалів.

Курс підготовлено із врахуванням сучасних досягнень нанонауки і нано-технології, сферу інтересів яких зосереджено на дослідженні так званих малорозмірних об'єктів. Систематизовані дані про наноструктурні матеріали, розмір зерен, пір та інших характерних елементів в структурі яких складає менше за 100 нм. Розглянуті особливості наноструктур цих матеріалів. Узагальнено дані про фізичні, хімічні, механічні та ін.. властивості, а також про розмірні ефекти. Описано основні технологічні засоби отримання наноструктурних матеріалів. Охарактеризовано основні галузі їх використання в традиційної та нової техніці, в інформаційних технологіях, а також в медицині, біології та охороні навколишнього середовища.

**Результатом навчання за курсом буде система знань у студента з приводу наноматеріалів**

**Предмет освітньої компоненти** - основи матеріалознавства наночастинок, нанострижнів, квантових точок, тонких плівок, консолідованих об'ємних тіл і методи їх отримання, аналізуються особливості структури фізико-хімічних, фізико-механічних, оптичних, електромагнітних та біологічних властивостей наноматеріалів, характеризуються основні напрямки сучасного і майбутнього застосування наноматеріалів. Дисципліна є обов'язковою для аспірантів зі спеціальністю 132 «Матеріалознавство» для освітньої програми підготовки доктора філософії, яка

викладається в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України в 2 семестрі в обсязі 3 кредитів (90 год), з них 48 год аудиторних занять (32 год лекційних і 16 год практичних) за кожним кредитом (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).

**Метою освітньої компоненти** є формування у здобувачів вищої освіти (з.в.о.) рівня PhD компетентностей:

**Інтегральна компетентність:**

Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі матеріалознавства, проводити дослідно-інноваційну діяльність, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

**Загальні компетентності:**

ЗК01. Здатність до освоєння і системного аналізу через наукове сприйняття і критичне осмислення нових знань.

ЗК02. Здатність до критичного аналізу і креативного синтезу нових ідей.

ЗК03. Здатність до розв'язування складних завдань, розуміння відповідальності за результат роботи з урахуванням вимог до академічної та професійної доброчесності.

ЗК04. Здатність до оприлюднення наукових результатів перед академічною аудиторією та громадськістю як на національному, так і на міжнародному рівні.

ЗК05. Здатність до самовдосконалення, адаптації та дії в нових ситуаціях, креативність.

ЗК07. Розуміння необхідності дотримання етичних норм та авторського права при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.

ЗК09. Здатність до самостійного освоєння нових технологій та методів дослідження.

**Фахові компетентності:**

ФК01. Здатність проводити інноваційну діяльність, що сприяє створенню нових знань у матеріалознавстві та суміжних міждисциплінарних галузях.

ФК02. Здатність застосовувати новітні підходи до аналізу інформації і застосування її для створення новітніх матеріалів та підвищення ефективності сучасних виробничих процесів.

ФК03. Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі матеріалознавства з урахуванням міжгалузевих зв'язків для забезпечення потреб у високоефективних матеріалах, енерго- та ресурсозберігаючих технологіях.

ФК04. Здатність переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і реалізувати проекти, включаючи власні дослідження, в сфері матеріалознавства та споріднених галузях.

ФК05. Спроможність спілкуватись в галузі матеріалознавства в діалоговому режимі в різномовному середовищі для ефективного публічного представлення і захисту отриманих наукових результатів, на вітчизняних та міжнародних наукових форумах, конференціях і семінарах.

ФК06. Здатність до ініціювання інноваційних комплексних технічних проектів, лідерства та повної автономності під час їх реалізації.

ФК08. Здатність до постійного самовдосконалення у професійній сфері, відповідальність за навчання інших при проведенні науково-педагогічної діяльності та наукових досліджень в галузі матеріалознавства.

ФК09. Здатність до аналізу результатів сучасних досліджень в області матеріалознавства металевих, керамічних, композиційних та наноматеріалів для вирішення наукових і практичних проблем і генерації нових знань.

ФК10. Здатність до генерації нових ідей, самостійного планування та здійснення наукової діяльності, адаптації та впровадження інноваційних технологій з урахуванням експлуатаційних вимог.

**Програмні результати навчання.** Після засвоєння освітньої компоненти аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

РН01. Проявляти наукові погляди та підходи при проведенні експертного аналізу наукових даних, оцінювати вплив технологічних факторів на властивості матеріалів.

РН02. Володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі матеріалознавства та бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей.

РН03. Інтегрувати існуючі методики та методи досліджень та адаптувати їх для розв'язання наукових завдань при проведенні дисертаційних досліджень.

РН04. Встановлювати закономірності управління складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення на основі фізико-хімічних процесів у матеріалах, з метою створення матеріалів із заданими структурами та характеристиками.

РН05. Встановити закономірності та вивчити особливості поведінки матеріальних об'єктів шляхом використання фундаментальних принципів фізичного, математичного, фізико-хімічного та імітаційного моделювання, а також застосування методів теоретичного й експериментального аналізу структури та властивостей матеріалів.

РН06. Застосовувати державні законодавчі акти, що регулюють технічну та інноваційну політику на міжнародному, міждержавному, державному та регіональному рівнях.

РН07. Визначатись з факторами та критеріями, які необхідно враховувати при експертизі науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт та проектів в галузі матеріалознавства враховуючи технологічний, економічний, соціальний ефект та вплив на стан довкілля.

РН08. Спланувати та реалізувати на практиці оригінальне самостійне наукове дослідження, яке має суттєву новизну, теоретичну і практичну цінність та сприяє розв'язанню соціальних, наукових та інших проблем.

РН09. Застосовувати у науковій та практичній діяльності провідні тенденції, ключові напрями та перспективи розробки нових матеріалів різної природи, основи сучасних технологій виготовлення конструкційних і функціональних матеріалів, «розумних» та біо-матеріалів, матеріалів спеціального (оборонного) призначення, з подовженим строком експлуатації та для відновлюваних джерел енергії.

РН11. Використовувати сучасні інформаційні джерела національного та міжнародного рівня для оцінки стану вивченості об'єкту досліджень і актуальності наукової проблеми.

РН12. Демонструвати навички роботи з сучасним обладнанням при проведенні експериментальних досліджень з матеріалознавства.

РН13. Володіти комунікативними навичками на рівні вільного спілкування в іншомовному середовищі з фахівцями та нефахівцями щодо проблем в галузі матеріалознавства.

РН14. Вміти доступно, на високому науковому рівні доносити сучасні наукові знання та результати досліджень до фахової та нефахової аудиторії.

PH15. Володіти навичками усної і письмової презентації результатів досліджень державною та іноземною мовами.

PH16. Описувати результати наукових досліджень у фахових публікаціях у вітчизняних та закордонних спеціалізованих виданнях, в тому числі, у внесених до наукометричних баз Scopus, Web of Science та аналогічних.

PH17. Координувати роботу дослідницької групи, вміти організовувати колективну роботу.

PH18. Дотримуватись етичних норм, враховувати авторське право та норми академічної доброчесності при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.

PH19. Знайти оригінальне рішення, направлене на розв'язання конкретної науково-технічної проблеми.

## 2. Місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою

Перелік освітніх компонент, знань та умінь, володіння якими необхідні аспіранту для успішного засвоєння освітньої компоненти:

<b>Пререквізити:</b>	
Матеріалознавство	Вивчення дисципліни базується на таких курсах класичного університету (рівень магістру) як, фізика конденсованого стану (або фізика твердого тіла), математика (математичний аналіз), статистична фізика (бажано), неорганічна хімія, органічна хімія (рівень середньої школи), фізика (механіка, електрика і магнетизм, оптика), фізична хімія (термодинаміка і кінетика), кристалографія та кристалохімія, хімія твердого тіла, колоїдна хімія, фізичне матеріалознавство, теорія та технологія виробництва порошкових та композиційних матеріалів, матеріалознавство керамічних матеріалів, механіка руйнування, загальна металургія, триботехніка та інші. Потрібен базовий рівень володіння англійською мовою.
Фізична хімія	Володіння базовими знаннями
Фізика конденсованого стану	Володіння базовими знаннями
<b>Постреквізити:</b>	
Наукова складова	Планування і виконання експериментальних досліджень з використанням сучасних методів та методик дослідження, критичний аналіз результатів досліджень.

## 3. Зміст освітньої компоненти

Лекції 32 год.

- Введення в матеріалознавство наноструктур: вежі, основні парадигми і визначення (2год);

- *Розмірний ефект, що спостерігають в наночастинках, тонких плівках, полікристалах, наноконкомпозитах. Розмірна залежність фізичних і термічних властивостей матеріалів (2год);*
- *Розмірний ефект що спостерігають в наночастинках, тонких плівках, полікристалах. Розмірна залежність кінетичних і механічних властивостей матеріалів, функціональних властивостей фероїків і фотоніків (2год);*
- *Основи методів отримання нанодисперсних структур з різною розмірністю: фізичні методи (2год): випаровування/конденсація, електровибух, лазерне випаровування/осадження, магнетронне осадження;*
- *Основи методів отримання нанодисперсних структур з різною розмірністю: хімічні методи (2год): со-осадження, гідротермальне осадження, синтези на темплатах, синтез в обернених мицелах та ін;*
- *Основи синтезу нанодисперсних структур в нанорозмірних реакторах (2год);*
- *Основи методів отримання нанодисперсних структур, в тому числі наноконкомпозитів з різним типом матриці: комбіновані і гібридні методи (2год);*
- *Консолідовані наноматеріали по Гляйтеру: Класифікація методів, Теорія консолідації (2год);*
- *Основи отримання консолідованих наноматеріалів під тиском (2год);*
- *Практика консолідації наноматеріалів без тиску і у вільній формі (2год).*
- *Наноконкомпозити: фізичні методи отримання, особливості їх структури та властивостей (2год);*
- *Наноконкомпозити з полімерною матрицею (2год); Адсорбція мономерів і олігомерів на наноб'єктах, зшивка полімерів, самозбірка наночастинок на полімерних ланцюгах;*
- *Тонкі плівки, в тому числі композиційні і багатошарові: фізичні технології їх отримання, структура, властивості (2год);*
- *Тонкі плівки в тому числі композиційні і багатошарові: хімічні технології їх отримання, структура, властивості (2год);*
- *2D наноматеріали: графени, нанотрубки, нанокластери, графеноподібні невуглецеві матеріали, Ван-дер-Ваальсові матеріали: технологія отримання, структура, властивості (2год).*
- *Методи характеристики наночастинок, 1D і 2D наноструктур (2год).*
- *Методи характеристики консолідованих наноматеріалів (2год);*
- *Приклади застосування консолідованих наноматеріалів і наноконкомпозитів (2год).*

#### *Лабораторні роботи*

- *Приготування суспензій з наночастинок (2год)*
- *Вивчення реологічних властивостей суспензій (2год)*
- *Визначення розподілу наночастинок за розміром (ДЛС метод (2год))*
- *Вимірювання дзета потенціалу наночастинок в суспензії (ДЛС метод (2год))*
- *Визначення питомої поверхні методом БЕТ (КАС (2год))*
- *Вимірювання розподілу мікро- і мезопор за розміром (КАС (2год))*
- *Консолідація нанокераміки з наночастинок методом іскро-плазмового спікання (2год)*
- *Консолідація наноконкомпозитів реакційним іскро-плазмовим спіканням (2год)*

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

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці інституту, а також може бути надана в електронному вигляді. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні.

- *Введення в матеріалознавство наноструктур: історія, основні парадигми і визначення (2год);*

*Введення в наноструктурне матеріалознавство. Загальна характеристика низько розмірних систем. Основні парадигми, підходи. Історичні аспекти розвитку наноматеріалів та нанотехнологій. Класифікація наноструктурних об'єктів. Визначення розмірності і її роль у фізичних і хімічних явищах. Співвідношення між об'ємом, між фазною границею і поверхнею. Кластери, незвичайні нанооб'єкти. Дефекти в кристалічних об'єктах. Глобальне значення нанотехнології, наноматеріалів, нанопристроїв для розвитку науки і техніки*

- *Розмірний ефект в частинках, плівках, полікристалах. Розмірна залежність фізичних властивостей матеріалів (2год);*

*Нанодисперсний стан. Розмірний ефект в частинках, плівках, полікристалах. Визначення розмірного ефекту за Гляйтером. Розмірна залежність фізичних властивостей матеріалів в дисперсному стані. Загальна характеристика нанокристалічного стану в залежності від розмірності наноструктур. Основні поняття термодинаміки фазових перетворень. Залежність координат точок фазових переходів від розміру нано об'єкту. Сегрегаційні і агрегаційні процеси. Гомогенне і гетерогенне зародження нової фази. Особливості фазових рівноваг в наносистемах. Нанодисперсії – ферромагнетика, сегнетоелектрика, ферроеластика – єдність відгуку на поля.*

- *Розмірний ефект в частинках, плівках, полікристалах. Розмірна залежність кінетичних і механічних властивостей матеріалів (2год);*

*Розмірний ефект в частинках, плівках, полікристалах. Розмірна залежність кінетичних та механічних властивостей матеріалів в дисперсному стані. Основні поняття кінетики дифузії в наноструктурах: критична довжина вільного пробігу дифузанта. Теплопровідність наноматеріалів, критична довжина пробігу фононів. Розмірні залежності модуля пружності, твердості, міцності та тріщиностійкості.*

- *Основи методів отримання нанодисперсних структур: фізичні методи (2год);*

*Фізико-хімічні і фізико-механічні основи одержання нанодисперсних порошків різноманітних матеріалів. Основні методи одержання нанодисперсних порошків. Класифікація методів одержання наночастинок. Методи характеристизації наночастинок. Основні елементи порошкової технології. Отримання наночастинок методами випаровування-конденсацією, електровибуху. Отримання квантових точок. Особливості механічних перетворень під дією інтенсивного подрібнення, аморфізація матеріалів.*

- *Основи методів отримання нанодисперсних частинок і порошків: хімічні методи (2год);*

*Основи синтезу наночастинок мокрими хімічними методами: співосадженням, гідротермальним осадженням і направленим зростанням. Синтез шляхом термічного розкладання нестійких прекурсорів як метод одержання нанодисперсних порошків.*

- *Основи синтезу нанодисперсних структур в нанорозмірних реакторах (2год);*

*Фізико-хімічні основи одержання нанодисперсних порошків різноманітних матеріалів в умовах нанореакторів. Синтез нанодисперсних порошків в умовах сонохімічної кавітації. Синтез нанодисперсних порошків в умовах нанодисперсних емульсій, прямих та зворотних міцел. Синтез з нестійких прекурсорів. Синтез в мезопористих матрицях.*

- *Основи методів отримання нанодисперсних структур: комбіновані і гібридні методи (2год);*

*Механохімічні перетворення під впливом інтенсивних деформацій. Фізико-хімічні основи одержання нанодисперсних порошків різноманітних матеріалів інтенсивним диспергуванням та методами механохімічного синтезу. Основи розмелу. Край диспергування різних металів. Роль поверхнево-активних сполук. Отримання нанодисперсних порошків в умовах механоактивації. Від механоактивації до механохімічного синтезу. Синтез наноструктур на темплатах. Створення структур типу «ядро-оболонка». Гібридні наноструктури, що об'єднують органічні і неорганічні речовини. Кіральність і кіральні структури як важливий елемент синтезу живих організмів.*

- *Консолідовані наноматеріали за Гляйтером і Скороходом: Класифікація методів, Теорія консолідації наночастинок (2год);*

*Контрольована кристалізація із аморфного стану. Молекулярна теорія консолідації наночастинок. Коалесценція в ансамблі нанорозмірних частинок. Коагуляція наночастинок як перша стадія локального спікання. Особливості кінетики росту зерен підчас спікання. Основні прийоми консолідації.*

- *Практика отримання консолідованих наноматеріалів під тиском (2год);*

*Методи консолідації нанодисперсних порошків. Консолідація в жорсткої матриці. Консолідація з попереднім формуванням. Консолідація в вільної формі. Гаряче пресування, іскро-плазмове спікання, спікання під високим тиском, імпульсне спікання в умовах ударних хвиль. Еволюція ансамблю наночастинок в процесах спікання під тиском. Спікання нанодіамандов під високим тиском. Холодне спікання нанокераміки під тиском. Спікання, що ускладнено фазовим перетворенням. Спікання, що ускладнено хімічним перетворенням. Рівноканальне кутове деформування щільних металевих матеріалів і гвинтова екструзія.*

- *Практика консолідації наноматеріалів без тиску і у вільної формі (2год).*

*Методи консолідації нанодисперсних порошків. Консолідація нанопорошків без матриці - консолідація з попереднім формуванням та в вільної формі. Неізотермічне спікання. Спікання з контрольованою швидкістю ущільнення. Спікання нанопорошків в умовах мікрохвильового нагріву. Флеш-спікання. Селективне лазерне спікання – приклад технології спікання без форми. Еволюція мікроструктури в процесах вільного спікання. Конкуренція механізмів масопереносу на різних стадіях спікання. Подолання росту зерен наприкінці ущільнення. Особливості електропереносу в процесі мікрохвильового спікання провідників та діелектриків. Явище теплового пробую.*

- *Нанокompозити: технології їх отримання, особливості їх структури та властивостей (2год);*



Класифікація наноконсолідованих з наноструктур різної морфології (по Гляйтеру), а також по типу матриці. Чому потрібні наноконсолідати? Отримання нанорозмірного зерна. Стабілізація наноструктур. Досягнення корисної комбінації властивостей вихідних компонентів. Композити з металевої та керамічної матрицею. Класифікація Нііхари. Властивості наноконсолідатів. Запобігання Оствальдову зростанню, вибір кількості компонентів та способу розміщення їх в матриці. Кінетика росту зерен в двухфазному наноконсолідаті. Зміцнення композитів нановолокнами, та нанорубками. Нова парадигма нанокераміки: кераміка з полімерів.

- Наноконсолідати з полімерною матрицею (2год);

Полімерні наноконсолідати – клас зміцнених полімерів з низьким вмістом (< 5%) нанорозмірних частинок – металів, оксидів, нанотрубок, сполук та ін. Полімерні матриці з монтморилонітом. Модифікація поверхні наночастинок, адсорбція полімерів. Стабілізація неорганічних наночастинок різної морфології в полімерній матриці. Полімеризація та со-полімеризація на поверхні наночастинок. Приготування наноконсолідатів через розчини та розплави. Міцелярні структури: міцели та везикули. Формування полімерних наноконсолідатів. Термостабільність наноконсолідатів. Мікрокапсулювання. Явище інтеркалювання в полімерних наноконсолідатах.

- Тонкі плівки: фізичні технології їх отримання, структура, властивості (2год);

Класифікація наноконсолідованих з наноструктур різної морфології (по Гляйтеру), а також по розмірності напруженого стану. Чому важлива розмірність для наноструктур? Розмірний ефект в тонких плівках. Технології отримання тонких плівок. Магнетронне розпилення (НВЧ), іонне, та іонне-плазмове розпилення. Іпульсна лазерна абляція. Комбінована технологія лазерного з іонним для багат шарових плівок. Електрохімічне осадження з пару. Реакційне розпилення. Визначні фактори для плівок. Напруження при взаємодії з підкладкою. Отримання квантових точок. Термічна стійкість та старіння плівок. Структура та властивості тонких плівок. Однорідна та неоднорідна пластична деформація тонких плівок тугоплавких речовин. Багат шарові плівки, надтверді плівки.

- Тонкі плівки: хімічні технології їх отримання, структура, властивості (2год);

- Вуглецеві наноматеріали: графени, фулерени, нанотрубки, нанокластери: технологія отримання, структура, властивості (2год).

Алотропні форми вуглецю – від алмазу до фулерену і графену. Класифікація вуглецевих нанокластерів: графени, фулерени, фулборани, нанотрубки, фуллеріти. Чи фулерен молекула? Структурні особливості фулерену. Технології отримання фулеренів – лазерна абляція, дугової синтез, сонячний піроліз вуглеводнів. Метод Кретчмера. Синтез ендометало-фулеренів. Екстракція фулеренів з сировини. Хроматографічне розділення фулеренів різного розміру. Фулереноподібні неорганічні сполуки. Вуглецеві нанотрубки: будова та технології отримання. Іпульсна лазерна абляція. Комбінована технологія синтезу. Електрохімічне осадження. Реакція Белла-Будуара. Роль каталізу та механізм росту нанотрубок. Оніони. Структура оніонів. Отримання оніонів з наночастинок алмазу. Нова структурна форма вуглецю. Невуглецеві нанотрубки.

- Методи характеристики наночастинок (2год).

Розподіл частинок за розміром, основні характеристики. Як приготувати проби наночастинок для надійного аналізу. Лазерна гранулометрія. Проблеми диспергування.

Аналіз розподілу частинок за розміром по інтенсивності, кількості частинок. Рентгенівський структурний аналіз. Формула Шерера. Метод Бруннауера-Еммета-Теллера (БЕТ). Розрахунок розміру частинок з даних про питому поверхню. Додатковий аналіз «хвостів» адсорбції. Електронна мікроскопія. Розподіл частинок за розміром за даними скануючої електронної мікроскопії. Розподіл частинок за розміром за даними трансмісійної електронної мікроскопії.

- *Методи характеристики консолідованих наноматеріалів (2год);*

Наноінденування. Особливості використання індентеру Берковича для визначення нанотвердості. Атомносилова мікроскопія. Скануюча тунельна мікроскопія. Нано-проб технології. Мікроскопія електричних сил. Мікроскопія магнітних сил. Електронна мікроскопія високого розрізнення. Можливості реконструювання атомної структури кристалу за допомогою ПЕМВР. Спостереження структури границь зерен в консолідованих наноматеріалах. Перспектива розвитку методів характеристики наноматеріалів.

- *Приклади застосування консолідованих наноматеріалів (2год).*

Нові якості наноматеріалів і області їх застосування в техніці, біології, медицині, охороні оточуючого середовища. Прогнози на майбутнє, в тому числі для України. Розвиток нових ріжучих, та зносостійких наноматеріалів. Створення наноструктурних каталізаторів на основі  $MnO_2$  для очищення води та повітря. Паливні комірки і джерела струму з наноструктурними мембранами. Особливості іонного переносу в таких пристроях. Мініатюризація елементів пасивної електроніки. Застосування наноструктурної кераміки в багатошарових керамічних конденсаторах. Сегнетоелектрична і резистивна пам'ять з надвисокою щільністю збереження інформації.

- *Приклади застосування порошкових наноматеріалів (2год).*

Нові якості наноматеріалів і області їх застосування в біології, медицині. Імплантати. Біосумісність, біоінертність, біорезорбція, біоактивність. Ортопедичні імплантати. Різноманіття матеріалів для ортопедії: від металічних імплантатів до резорбуючих керамічних композитів. Матеріал "Сінтекість", що вироблено в Україні. Особливості біоактивного гідроксиапатиту. Проблема транспортування ліків. Матеріали для транспортування. Наномагнетики для гіпертермії, та транспортування.

*Лабораторні навчання*

- *Приготування суспензій з наночастинок (2год)*
- *Вивчення реологічних властивостей суспензій (2год)*
- *Визначення розподілу наночастинок за розміром (ДЛС метод (2год))*
- *Вимірювання дзета потенціалу наночастинок в суспензії (ДЛС метод (2год)*
- *Визначення питомої поверхні методом БЕТ (КАС (2год)*
- *Вимірювання розподілу мікро- і мезопор за розміром (КАС (2год)*
- *Консолідація нанокераміки з наночастинок методом іскро-плазмового спікання (2год)*
- *Консолідація нанокомпозитів реакційним іскро-плазмовим спіканням (2год)*

### **Базова література:**

- *Nanomaterials Handbook* (ed. by Y. Gogotsi)– ISBN 9781498703062  
712 Pages 433 B/W Illustrations Published August 23, 2017 by CRC Press
- Скороход В.В., Уварова І.В., Рагуля А.В. Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах *Академперіодика* 2001, 150 с
- [Louis Hornyak](#), [H F Tibbals](#), [Joydeep Dutta](#), [John J. Moore](#) *Introduction to Nanoscience & Nanotechnology*, Publisher: Taylor and Francis CRC Press ISBN: SBN: 978-1-4200-4779-0, DOI: [10.1201/9781420047806](https://doi.org/10.1201/9781420047806)

### **Додаткова література:**

- *Нанохімія, наносистеми, наноматеріали* / С.В. Волков, Є.П. Ковальчук, В.М. Огієнко, О.В. Решетняк. – Київ: Наукова думка, 2008. – 424 с.
- O. A. Kovalenko, O. V. Shyrokov, V. G. Kolesnichenko, A. V. Ragulya *The Control of the Structure and Size of the Barium Titanate Nanoparticles Prepared by the Oxalate Method. Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii* 2023, m. 21, № 2, cc. 413–426
- O.B. Zgalat-Lozynskyy, A.V. Ragulya *Theory and technology of sintering, thermal and thermochemical treatment microwave sintering of chessboard-structured tin-si3n4 composites reinforced by nanofibers.* *Powder metallurgy and metal ceramics*, 2022, Vol. 61, No 1 – 2, P. 32 – 39.
- *Nanomaterials: An Introduction to Synthesis, Properties and Applications*, ed. by D. Vollath, Wiley, 2013, 386 pp.

## **Навчальний контент**

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

Передбачено комплексний підхід, що поєднує лекції та семінари, а також розгляд питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовується ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені в Google Classroom. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої. Метою практичних занять є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення освітньої компоненти.

### **• 6. Самостійна робота**

Самостійна робота включає повторення лекційного матеріалу, опрацювання рекомендованої літератури, що дозволяє розширити та поглибити знання з дисципліни, підготовку до практичних завдань та екзамену.

## **Політика та контроль**

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

- [правила відвідування занять \(як лекцій, так і практичних/лабораторних\);](#)

Відвідування занять є обов'язковим компонентом оцінювання, за яке нараховуються бали. За об'єктивними обставинами (офіційний локдаун, наприклад, хвороба,

міжнародне стажування) навчання може відбуватись в он-лайн формі (змішана форма навчання) за погодженням із керівником курсу.

- *правила поведінки на заняттях (активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення телефонів, використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача чи в інтернеті тощо);*

Слухати викладача і вести конспекти, а також задавати запитання по ходу викладання тою мовою, на якій відбувається викладання. Користуватися мобільними пристроями під час лекцій або лабораторних занять заборонено.

- *правила захисту лабораторних робіт;*

залік за виконання лабораторних робіт студент отримує від викладача за умов присутності студента на лабораторних роботах і наявності правильних письмових відповідей на запити викладача стосовно змісту лабораторних робіт.

- *правила призначення заохочувальних та штрафних балів;*

Викладач має задавати запитання по ходу лекцій і лабораторних робіт задля контролю засвоєння матеріалу, що викладається. В разі вдалих відповідей студент має право на бонусні бали, які позитивно впливають на загальну оцінку заліку. Вдале запитання з боку студентів викладачеві також позитивно оцінюється на заліку. Викладач має пропонувати студентам прочитати цікаву наукову публікацію за темою курсу і коротко обговорити її зміст протягом лабораторних занять. Студенти, що відгукуються на таку акцію мають право на додаткові бонуси від викладача. В разі ініціювання студентом позалекційного обговорення цікавої публікації, він також додатково позитивно оцінюється протягом заліку. Штрафні бали накопичуються в разі пропуску занять. Невдалі відповіді на запитання викладача протягом навчання не оцінюються штрафними балами.

- *політика дедлайнів та перескладань;*

Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку. Перескладання модулів відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний). *політика щодо академічної доброчесності;*

Письмові роботи (контрольні та залікові) перевіряються на наявність плагіату і допускаються до захисту із коректними текстовими запозиченнями. Під час контрольних робіт та заліку дозволено використовувати довідкову літературу (в т. ч. конспектів лекцій, лекційних презентацій із використанням мобільних пристроїв). Списування не допускається.

- *інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам Університету.*

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

В рамках навчальної дисципліни передбачено кілька видів контролю та систему рейтингування результатів навчання, а саме:

Поточний контроль: опитування під час лекцій та на семінарських заняттях.

Семестровий контроль: залік.

Рейтингова система оцінювання формується з суми балів, набраних під час поточного та семестрового контролю. Рейтинг аспіранта R розраховується за 100

бальною шкалою та складається з балів, що він отримує протягом семестру (стартовий рейтинг)  $S$  та диференційованого заліку  $C$ . Додаткові бали  $D$  можна отримати за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Таким чином, сумарний рейтинговий бал розраховується як

$$R=S + C + D$$

Стартовий рейтинг  $S$  складається з балів, що аспірант отримує за відвідування занять (1 бал), активну роботу на занятті (2 бали), правильну відповідь при поточному опитуванні (2 бали), виконання творчого завдання (5 балів). Максимальна сума балів, яку аспірант може набрати протягом семестру (стартовий рейтинг), складає 50 балів. Умовою допуску до заліку є кількість рейтингових балів не менше 30.

На заліку аспіранти виконують письмову тестову роботу, що складається з 50 питань. Кожне запитання (завдання) оцінюється в 1 бал. Умовою успішної здачі заліку є кількість отриманих за залікову роботу балів не менше 30.

Сумарний рейтинговий бал розраховується за формулою:

$$R=S + C + D,$$

де  $S$  –стартовий рейтинг;

$C$  – залік;

$D$  – додаткові бали.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: [екзамен](#)

Відповідність між кількістю балів, оцінкою за національною шкалою та шкалою ECTS наведена в таблиці.

Кількість балів	Шкала ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	Відмінно
85-89	B	Добре
75-84	C	
65-74	D	Задовільно
60-64	E	
Менше 60	FX	Незадовільно
Не виконані умови допуску		Не допущено

## 9. Додаткова інформація з освітньої компоненти

Робочу програму освітньої компоненти (силабус):

Складено: Заступник директора з науковій роботі, доктор технічних наук, професор, академік НАН України Рагуля Андрій Володимирович

Ухвалено Вченою радою Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України (протокол №10 від «06» серпня 2024 р.).